A TEXT BOOK
OF
INTERMEDIATE PHYSICS
IN TAMIL
(VOLUME II)

4318.

BY

R. K. VISWANATHAN, M.A.,
(LECTURER IN PHYSICS
AND MEMBER, BOARD OF STUDIES IN PHYSICS,
ANNAMALAI UNIVERSITY
AUTHOR OF " SANGITA OLI NOOL ")

AND

V. N. RAMASWAMY, B.Sc. (Hons.)

PRINTED AT
DE NOBILI PRESS, MADURA
AND PUBLISHED BY
ANNAMALAI UNIVERSITY.
1941

T004318
Sarasvati Mahal Library. Thanjavur

FOREWORD

IT has been increasingly recognized in recent years that the easiest way of acquiring knowledge in the Arts and in the Sciences lies through the medium of the mother tongue. Many high schools in the Presidency have during the last few years adopted the South Indian languages as media of instruction in the Science subjects. A logical extension of this arrangement will be the continuation of the same method of teaching in the collegiate classes.

A proper beginning on such lines will obviously involve the preparation of suitable text-books in Tamil for the Intermediate Classes. The Annamalai University has contributed in a large measure to this desirable reform and one of the results is the publication of the present volume of Intermediate Text-book of Physics written in Tamil.

Far too much energy is required to understand the full implications of a foreign language and I doubt whether many of us could ever hope to appreciate fully the many native subtleties of the English language. Any kind of transition is attended with difficulties and many of us who have become accustomed for several decades to English terms may look with a good deal of concern at the

large number of technical terms in Tamil introduced in the book. It should however be admitted that once the strange barrier of terms is crossed over by getting familiar with its details, further work is bound to be smooth and easy for teachers and students.

The authors are specially equipped for the arduous work that they have undertaken. Both of them are well known for their scholarship in Physics and in Tamil; and the senior author has also to his credit, the experience of having been a teacher and examiner in Physics for many years. It was no wonder that the present work was declared to be the best out of three manuscripts submitted to the Syndicate of the Annamalai University and secured the scheduled prize of one thousand rupees.

I earnestly hope that this pioneer work will herald an era of rapid dissemination of scientific knowledge in the Tamil Nad.

S. RAMACHANDRA RAO,
M.A., Ph.D., D.Sc. (London),
F. Inst. P.,
Professor of Physics.

ANNAMALAI UNIVERSITY,
ANNAMALAINAGAR,
27—2—1941.

பௌதிக நூல்

(இரண்டாம் புத்தகம்)

4318.

ஆர். கே. விசுவநாதன், எம்.ஏ.,

(பௌதிக நூலாசிரியர், அண்ணாமலைச் சர்வகலாசாலை
"ஸங்கீத ஒலி நூல்" இயற்றியவர்)

வி. என். இராமஸாமி, பி.எஸ்.ஸி. (ஆனர்ஸ்)

இவர்களால் எழுதப்பட்டது.

அண்ணாமலைச் சர்வகலாசாலையாரால்
மதுரை தே நோபிலி அச்சுக்கூடத்திற்
பதிப்பிக்கப் பெற்றது

1941

" கல்வித் தேவி ஞெளி மிகுத் தோங்க "

பாரதி.

நன்றியுரை

4318.

சென்ற 1936-ஆம் ஆண்டில் அண்ணுமலைச் சர்வகலாசாலை யார் இண்டர்மீடியட் வகுப்புக்குத் தக்கதொரு பௌதிக நூலைத் தமிழில் எழுதுபவருக்கு ரூபாய் ஆயிரம் பரிசு அளிப்பதாகப் பத்திரிகைகளில் ப்ரசுரம் செய்திருந்தனர். அப் போட்டியில் "வந்தேமாதரம்" என்ற புனை பெயர் கொண்ட எமது புத்தகத் துக்குப் பரிசு அளிக்கப்பட்டது. பரிசளித்து இந்நூலை வெளியிடும் அண்ணுமலைச் சர்வகலாசாலைக்கு மனமார்ந்த நன்றியறிவித்தல் எமது முதற் கடன். அச்சிடுவதற்குமுன் இந்நூலை நன்கு பார்வை யிட்டு உதவிய சர்வகலாசாலைத் தமிழாசிரியர் இ. எஸ். வரதருஜ அய்யர், பீ.ஏ., அவர்களுக்கும், கடிதப் பிரதியைப் பெயர்த்தெழுது வதிலும், கேள்விகளுக்கு விடை தயாரிப்பதிலும் உதவிய கே. இராமச்சந்திரன், பி.எஸ்.ஸி., அவர்களுக்கும், படங்கள் தயாரித்து உதவிய மாணவர்கள் இ. எஸ். குஞ்சிதபாதம், வி. இராமச்சந்திரன் முதலியோர்களுக்கும் எமது வந்தனத்தைத் தெரிவித்துக்கொள்ளுகிறோம். இந்நூலை எழுதுவதில் உதவி யளித்தவை ஆங்கிலத்தில் உள்ள பல நூல்களேயாகும். அவை யின்றி இது போன்ற நூலை இயற்றுவது இயலாதெனப் பௌதிக நூல் வல்லார் அறிவர். நூலுக்கு முகவுரை எழுதியுள்ள டாக்டர் எஸ். இராமச்சந்திர ராவ் அவர்களுக்கு எமது வந்தனத்தைத் தெரிவித்துக்கொள்ளுகிறோம். இதனைத் திறம்பட அச்சிட்டுக் கொடுத்த தே நோபிலி அச்சுக்கூடத்தின் திறமை பாராட்டத் தக்கது. தமிழ் நலம் பரவுக.

"வந்தேமாதரம்"

பௌதிக நூல்

இயக்கவியல் (DYNAMICS)

[அத்தியாயச் சுருக்கம்] 4318.

அத்தியாயம் 1

அலகுத் திட்டங்கள் (Units of Measurement)

[முதல் அலகுகள், வழியலகுகள்—அலகின் வரைவிலக்கணம்—நீளம், காலம், நிறை, இவற்றின் அலகுகள்—பிரிட்டிஷ் திட்டம் (அ. ப. செ.)—மெட்ரிக் திட்டம் (செ. கி. செ.)—மெட்ரிக் முறையில் நீட்டலளவை எடுத்தலளவை வாய்பாடுகள்—நேர்கோட்டின் நீளத்தை அளத்தல்:—வெர்னியரின் தத்துவம்—நேர் வெர்னியர், எதிர் வெர்னியர்—மூலைவரை அளவி—வெர்னியர் காலிபர்—திருகுமானி—கோளமானி—கோளமானியால் ஒரு சில்லினது கனம், கோள ஆடியின் வளைவு ஆரம், இவற்றை அளத்தல்—நிறையை அளவிடுதல்:—சாதாரணத் தராசும் அதைக்கொண்டு ஒரு எடையை நுணுக்கமாக நிறுத்தலும்—வில்தராசு—காலத்தை அளத்தல்:—நாலம், பாணி என்னும் கருவிகள்—வழியலகு இராசி (பரப்பு, பருமை) களை அளத்தல்—அளவியல் சாடி, வழியும் கலம், இவற்றால் கட்டிப்பொருள்களின் பருமையை அளத்தல்.]

அத்தியாயம் 2

பெயர்ச்சியும் கதியும் (Displacement and Velocity)

[இயக்கமும் பெயர்ச்சியும்—பெயர்ச்சிகளைத் தொகுத்தல், வகுத்தல் என்பவற்றின் விளக்கம்—பிரிநிலை—தொகுத்தலில் சில சிறப்பு வகைகள்—கதி—கதிகளைத் தொகுத்தல்—இரண்டு கதிகளின் பயனிலைக்கு ஒரு வாய்பாடு காண—ஒரு கதியின் பிரிநிலைகளை ஒன்றுக்கொன்று செங்குறுக்கான ஏதேனுமிரண்டு திசைகளில் காணல்—உருவக முறையினால் இயக்கத்தை ஆராய்தல்—கால இடப்படம்—கதிவரை.]

அத்தியாயம் 3

முடுக்கம் (Acceleration)

[கதிமாற்றம் — முடுக்கம் — முடுக்க அலகுகள் — மிகை முடுக்கம், குறை முடுக்கம் அல்லது தடுக்கம் —சீரான முடுக்கம்கொண்ட ஒரு துகளின் கதியைக் கண்டு அதன் கதிவரையை வரைய — அது கடந்து செல்லும் தூரத்தைக் கண்டுபிடிக்க—சீரான முடுக்கம் கொண்ட பொருள்களின் பொதுமை கதி—சீரான முடுக்கத்தோடு இயங்கும் ஒரு துகளின் துவக்க-முடிவு கதிகளைக்கொண்டு அது இடையிலே கடந்து சென்ற தூரத்தைக் காண—பொருள்கள் வீழ்தல்—கலிலியோவின் பரிசோதனை—நியூட்டனின் நாணய-இறகு பரிசோதனை—பூமிக்கவர்ச்சியின் முடுக்கம்—பொருள்களின் வீழ்ச்சிக்குரிய வாய்பாடு—மேனோக்கி எறியப்பட்ட பொருள்கள்—'g'யை நிர்ணயித்தல்—சாமானிய நாலம்—நாலத்தின் வீச்சு, ஆட்டம், பொழுது—சாமா

னிய நாலத்தைக்கொண்டு செய்யும் பரிசோதனைகள்—செகண்டு நாலம்—பலகை வீழ்ச்சி முறையினால் 'g'யைக் கணக்கிடல்.]

அத்தியாயம் 4

நியூட்டன் இயக்க விதிகள்
(Newton's Laws of Motion)

[நிறை, உந்தம் என்னும் பதங்கள்—நியூட்டன் இயக்க விதிகள்—சக்தி—சில உதாரணங்களால் முதல் விதியின் விளக்கம்—பொருள்களுக்கு ஜடத்வம் என்னும் குணம்—இரண்டாவது விதியால் சக்தியை அளத்தல்—டைன், பவுண்டல்—இயக்கவியல் அலகுகளும் கவர்ச்சியியல் அலகுகளும்—நிறையும் எடையும்—கவர்ச்சி விதி—பூமியின் நிறையும் செறிவும்—மூன்றாவது இயக்க விதியைச் சில உதாரணங்களால் விளக்குதல்—உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி—ஹிக்கின் முட்டல் தராசினால் இரண்டு பொருள்களின் நிறையை ஒப்பிடுதல்.]

அத்தியாயம் 5

அட்வுட் இயந்திரமும் ப்ளேட்சரின் வண்டியும்
(Atwood's Machine and Fletcher's Trolley)

[ஒரு சகடையின் இருபுறங்களிலும் தொங்கவிடப்பட்ட இரண்டு எடைகளின் இயக்கமும் முடுக்கமும்—முடுக்கத்தை அளந்து 'g'யைக் கணக்கிடல்—அட்வுட்

இயந்திரம்—இந்த இயந்திரத்தினால் (i) சீரான சக்திக்குட்பட்ட பொருள் சீரான முடுக்கத்துடன் இயங்குகிறது, (ii) முடுக்கம் தொழிற்படும் சக்திக்கு ஏற்றது என்னும் விதிகளைச் சரிபார்த்தல்—'g' யின் மதிப்பை அட்வுட் இயந்திரத்தினுதவியால் கண்டுபிடித்தல். ஒரே சக்தி பல பொருள்களின்மீது தொழிற்பட்டால், அவைகளிலேற்படும் முடுக்கம் அந்தந்தப் பொருள்களின் நிறைக்கு எதிர்விகிதமாக இருக்கும் என்று காட்ட—ஒரு பொருளில் ஏற்படும் கதிமாற்றம் அதன் சக்தி தொழிற்படும் காலத்திற்கு ஏற்றது என்று காட்ட—ப்ளெட்சரின் வண்டி—வண்டி செல்லும் தூரத்தை அளந்து அதன் முடுக்கத்தைக் கண்டுபிடித்தல். இவ்வண்டியைக் கொண்டு (i) முடுக்கம் தொழிற்படும் சக்திக்கு ஏற்றது, (ii) ஒரே சக்தியினால் ஏற்படும் முடுக்கம் பொருள்களின் நிறைகளுக்கு எதிர்விகிதமாக இருக்கும், என்பவற்றைப் பரிசோதனையால் காட்ட—'g' யைக் கணக்கிட.]

அத்தியாயம் 6

வேலையும் ஆற்றலும் (Work and Energy)

[ஒரு பொருளின்மீது ஒரு சக்தி தொழிற்படும் போது அதன் பிரயோக நிலை இயங்கினால் வேலை செய்யப்படுகிறது. பிரயோக நிலை சக்தி தொழிற்படும் திசையில் நகர்ந்தால், சக்தி × பெயர்ச்சி = சக்தி செய்த வேலை. பிரயோக நிலை சக்தியின் திசைக்கு மாறுபட்டு நகர்ந்தால் சக்தி செய்த வேலையைக் கணக்கிட—வேலையலகுகள்—'எர்க்கு', 'ஜூல்' — அடிப்பவுண்டல்—நிலக்கவர்ச்சி அலகுகள்—செய்யப்பட்ட வேலையை உருவகத்தால் காட்டுதல்—விசை—ஒரு சாதனம் அல்லது இயந்

திரம் ஒரு செகண்டில் செய்யும் வேலை—விசையின் இலக்கணம்—குதிரை விசை—விசையை அளவிடுதல் —வேலைக்கும் விசைக்குமுரிய வாய்பாடுகள்—ஆற்றல் என்பது ஒரு பொருள் வேலை செய்யக்கூடிய திறமையா கும்—இயக்க ஆற்றலும் நிலைப்பு ஆற்றலும்—ஒரே கதி யோடு இயங்கும் ஒரு பொருளின் ஆற்றலைக் காண— மேலேற்றப்பட்ட பொருளின் நிலைப்பு ஆற்றல்—இயக்க ஆற்றலும் நிலைப்பு ஆற்றலும் ஒன்று மற்றொன்றாக மாறுதல்—சில உதாரணங்கள்—ஆற்றலின் அழி வின்மை விதி.]

நிலையியல் (STATICS)

அத்தியாயம் 7

ஒரு புள்ளியில் தொழிற்படும் சக்திகள்

(Forces at a Point)

[ஒரு சக்தியை நேர்கோட்டினால் குறிப்பிடுதல்—பல வேறு சக்திகளின் பயனிலை—பிரிநிலைகள்—சமநிலை—பலவேறு சக்திகளின் பயனிலைக்குச் சமமான ஆனால் எதிரானதொரு சக்தி—ஒரே கோட்டில் தொழிற்படும் சக்திகளின் பயனிலை—சக்தி இணைகரம்—சக்தி இணைகர விதியைப் பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல்—சக்தி முக்கோண விதி—சக்திப் பலகோணம்—சக்தி முக்கோண தத்துவத்தைப் பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல்—லாமியன் ஊகை—பரிசோதனை—சக்திகளைத் தொகுத்தலும் வகுத்தலும்—செங்குறுக்கான இரண்டு சக்திகளின் பயனிலையைக் காண—ஒன்றுக்கொன்று சாய்வான இரண்டு சக்திகளின் பயனிலையைக் காண—ஒன்றுக்கொன்று செங்குறுக்கான இரண்டு திசைகளில் ஒரு சக்தியின் பிரிநிலைகளைக் காண—வடிவியல் காரணத்தால் ஒரு சக்தியின் பிரிநிலைகளை ஏதேனுமிரண்டு திசைகளில் காண—ஆகாய விமானம் பறக்கும் விதம்.]

அத்தியாயம் 8

இணைச்·சக்திகள் (Parallel Forces)

[விறைப்புப் பொருள்கள்—ஒத்த சக்திகளும் எதிர் சக்திகளும்—ஒரு விறைப்புப் பொருளின்மீது தொழிற்

படும் இரண்டு இணைச்சக்திகளின் பயனிலை காண—இரட்டைகள்—இணைச்சக்தி விதிகளைப் பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல்—பல இணைச்சக்திகளின் பயனிலை—திருப்பியல்—மிகைத் திருப்பியலும் குறைத்திருப்பியலும்—திருப்பியலை வடிவியல் முறையால் குறித்தல்—ஒரே தளத்தில் தொழிற்படும் இரண்டு சக்திகளின் திருப்பியல், அதே புள்ளியைச் சுற்றி அவற்றின் பயனிலையின் திருப்பியலுக்குச் சமமாகும்—பல வேறு இணைச்சக்திகளினது பயனிலையின் தொழிற்படும் புள்ளியைக் காண—பலவேறு ஏகதள இணைச்சக்திகள் தொழிற்படும் ஒரு விறைப்புப் பொருளின் சமநிலைக்குரிய நிபந்தனைகளைக் காண—இவற்றைச் சோதனையால் சரிபார்த்தல்.]

அத்தியாயம் 9

கவர்ச்சி மையம் (Centre of Gravity)

[கவர்ச்சி மையம்—ஒவ்வொரு கட்டிப் பொருளிலும் அதன் பல வேறு பாகங்களின் எடைச் சக்திகளின் பயனிலை எப்போதும் செல்லும் புள்ளி, கவர்ச்சி மையம் எனப்படும்—ஒரு பொருளுக்கு ஒரே கவர்ச்சி மையம் தான் இருக்கக்கூடும்—சில சாமானிய வடிவுகொண்ட பொருள்களின் கவர்ச்சி மையங்களைக் காண—சீரான தடிப்புக்கொண்ட ஒரு சட்டத்தின் கவர்ச்சி மையம் அதன் நடுப்புள்ளியாகும்—இணைகர வடிவான ஒரு தகட்டின் கவர்ச்சி மையம் இரண்டு மூலைவரைகளும் வெட்டுமிடமாகும்.—ஒரு முக்கோண வடிவான தகட்டின் கவர்ச்சி மையம் நடுவன்கள் கூடுமிடமாகிய செம்மையமாகும்—கவர்ச்சி மையமும் தாங்குநிலையும்—

கவர்ச்சி மையத்தைப் பரிசோதனையால் கண்டுபிடித்தல்—கவர்ச்சி மையத்தைப்பற்றிய பொது ஊகை—கவர்ச்சி மையத்தைப்பற்றிய இரண்டு ஊகைகள்—சமநிலைகளின் நிலைப்பேறு—அடிவாரம்.]

அத்தியாயம் 10

சாமானிய இயந்திரங்கள் (Simple Machines)

[இயந்திரம்:—வரைவிலக்கணமும் உதாரணங்களும்—இயந்திரங்களைப்பற்றிய வரையில் விசை அல்லது பிரயோக சக்தி, எடை அல்லது தடை என்பன—இயந்திரத்தின் வேலைத்தத்துவம்—இயந்திர சாதகம் அல்லது கதித்தகவு—இயந்திரத்தின் திறமை—உதாரணங்கள்:—நெம்புகோல்—நெம்புகோல்களில் மூன்று வகுப்புகள்—அவைகளின் இயந்திர சாதகம்—சகடும் இருசும்—இறைப்புருளை—தராசு—ஒரு நல்ல தராசிற்கு அவசியமான குணங்களும் அவற்றிற்கு வேண்டிய நிபந்தனைகளும்—ஒரு சமமில்லாத சிறைகளையுடைய தராசினால் நிறையிடும் முறைகள்—துலாக்கோல்கள்—ரோமன் துலாக்கோல், டேனிஷ் துலாக்கோல்—சகடைகள்—மூன்று வகைச் சகடை அமைப்புகள்—அவ்வமைப்புகளின் இயந்திர சாதகங்களும் அவற்றைப் பரிசோதனையால் சரிபார்த்தலும்—சாய்வு சாரம்—அதன் வேலைத்தத்துவ முறை—பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல்.]

புனல் - நிலையியல்
(HYDRO-STATICS)

அத்தியாயம் 11

சேறிவும் ஒப்புமைச் சேறிவும்
(Density and Specific Gravity)

[செறிவு, ஒப்புமைச் செறிவு என்னும் பதங்களின் விளக்கம்—ஒரு பதார்த்தத்தின் செறிவையும் கவர்ச்சி உரிமையையும் காணச் சாதனங்கள்—வழியும் கலம், பூரகம், செறிவுக்கலம்—செறிவுக் கலத்தினுதவியால் ஒரு திரவத்தின் அல்லது சிறு துகள்களான கட்டிப் பொருள்களின் ஒப்புமைச் செறிவைக் காணு முறைகள்.]

அத்தியாயம் 12

அழுத்தமும் இறுக்கமும் (Thrust and Pressure)

[அழுத்தம் என்பதின் விளக்கம்—ஒரு புள்ளியிலேற்படும் இறுக்கம்—பொதுமை இறுக்கம்—இறுக்க அலகுகள்—சரிக்கும் இசிவு—ஓடிகளில் ஏற்படும் இசிவுகள்—அசையாது நிற்கும் திரவத்தினுள் ஓர் புள்ளியினிறுக்கம்—திரவத்தினுள் வெவ்வேறு ஆழங்களில் இருக்கும் இரண்டு புள்ளிகளின் இறுக்க வேற்றுமையைக் கணக்கிட—ஒரு சீரான இறுக்கத்திற்குட்பட்ட திரவத்தின் பரப்பு—'திரவம் தன் மட்டத்தை நாடுகிறது'—ஓடி இறுக்கத்தின் பரவும் இயல்பு—பாஸ்கலின் விதியை ஒரு உபகரணத்தால் விளக்குதல்—ஓடி

களின் இயல்புகளைப் பரிசோதனைகளால் விளக்கிக் காட்டுதல்—ஆர்டீசியன் கிணறுகள், நீர்மட்டம், ரசமட்டம் முதலியன—பாஸ்கலின் கலங்கள் என்னும் உபகரணம்—திரவத்தினுள் ஒரு புள்ளியினிறுக்கம் அதன் ஆழத்திற்கும் அத்திரவத்தின் செறிவுக்கும் ஏற்றது என்றும், அது எல்லாத் திசைகளிலும் சமமான அளவையுடையது என்றும் காட்டச் சில பரிசோதனைகள்—கார்டீஸியன் நீர்மூழ்கி—நீர்மூழ்கிக் கப்பலின் தத்துவம்—நீர் நிலையியல் விசித்திரம்—நீரியல் துருத்தி, பிராமா அச்சு என்னும் கருவிகள்—புகைக்கூண்டுகளும் ஆகாயக் கப்பல்களும்—சமமான இறுக்கங்களைக் கொடுக்கும் திரவ நிரைகளைக்கொண்டு திரவங்களின் ஒப்புமைச் செறிவைக் காண—குழாய்க்கவடும் ஹேரின் கருவியும்.]

அத்தியாயம் 13

ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவம் (Principle of Archimedes)

[ஒரு பொருள் திரவத்தில் முழுகியிருக்கும்போது அதன்மீதேற்படும் நீரியல் அழுத்தத்தைக் காண—பொருள்கள் திரவத்தில் அழுந்தியிருக்கும்பொழுது எடையில் குறைவுபடுவதாகத் தோற்றல்—மிதப்பு, மிதப்பு மையம்—ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவமும் மிதவை விதியும்—ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவத்தை இரு பரிசோதனைகளால் சரிபார்த்தல்—ஒரு பொருள் திரவத்தில் முழுகி நிற்பதால் திரவத்தைக்கொண்டிருக்கும் கலத்தின் மீது ஏற்படும் அதிக அழுத்தம்—ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவத்தால் நீரில் கரையாத திடப்பொருள், திரவம், நீரில் கரையக்கூடியதொரு பொருள், மிதக்கக்கூடிய பொருள் ஆகியவற்றின் ஒப்புமைச் செறிவைப் பரிசோ

தனையால் கண்டுபிடித்தல்—நீரியல் தராசினுல் ஒரு பொருளின் பருமையை அளத்தல்—ஒரு கம்பியின் குறுக்களவு, சிக்குப்பட்டுள்ள கம்பிச் சுருளின் நீளம் முதலியவற்றைக் கணக்கிடுதல்—மிதவை விதிகள்–திரவமானியின் தத்துவம் — வகைகள் — சோதனைக்குழாய் மிதவை—நிக்கல்ஸன் திரவமானி—இத்திரவமானியால் ஒரு கட்டிப்பொருள், திரவம், மிதக்கும் பொருள் முதலியவற்றின் ஒப்புமைச் செறிவைக் கண்டுபிடித்தல்—சாமானிய திரவமானிகள்.]

அத்தியாயம் 14

பவனத்தின் இறுக்கம் (Atmospheric Pressure)

[பவன இறுக்கத்திற்கும் திரவ இறுக்கத்திற்குமுள்ள வேற்றுமை—பவன இறுக்கத்தைக் காட்டச் சில பரிசோதனைகள்—மையுறிஞ்சும் பேனுக்களின் தத்துவம்—மாக்டிபர்க் கிண்ணங்கள்—இருவகைப் பாரமானிகள் :—திரவப்பாரமானிகள், நெகிழ்ச்சிப்பாரமானிகள்–அங்குசப் பாரமானி இயற்றும் விதம்–பார்டின் பாரமானி—பவன இறுக்கத்தைக் காணும் விதம்—பாரமானியின் வாசகத்தில் செய்யவேண்டிய திருத்தங்கள்—நெகிழ்ச்சிப் பாரமானியின் சில உபயோகங்கள்—பாயிலின் விதி—பரிசோதனைகளால் சரிபார்த்தல்—காற்றையுட்கொண்ட பாரமானிகளும் அவற்றிற்குரிய திருத்தங்களும்.]

அத்தியாயம் 15

இறுக்கமானியும் இறைவி நிறைவிகளும்
(Manometer and Pumps)

[இறுக்கமானி—தாழிறுக்கமானி—நீரியல் இயந்திரங்கள் :—அங்குச நாளி, பீச்சாங்குழல்—நீர் இறைவிகள் :—சாமானிய இறைவி—தூக்கும் இறைவி—பீச்சும் இறைவி—காற்றிறைவிகள்—n அடிகளுக்குப்பின் உள்ளிருக்கும் காற்றிறுக்கத்திற்கு வாய்பாடு—ஸ்பிரெஞ்சலின் இறைவி—ஹைவாக் இறைவி—மெக்ளியாட் இறுக்கமானி—புளூஸ் இறைவி—நிறைவிகள்.]

வெப்பவியல் (HEAT)

அத்தியாயம் 1

சூட்டை அளத்தல் (Thermometry)

[சூடும் வெப்பமும்—சூட்டின் விளைவுகளும் அவற்றை அளத்தலும்—சூடேற்றுவதால் உண்டாகும் மாறுபாடுகள்—சாதாரண உஷ்ணநிலைமானி இயற்றும் விதம்—உஷ்ணநிலைமானியில் உபயோகப்படும் திரவங்கள்—உஷ்ணநிலைமானி ஒன்று இயற்றுதல்—உஷ்ணநிலைமானியின் தாழ்ந்த மாறுநிலையையும் உயர்ந்த மாறுநிலையையும் காண—உஷ்ணநிலைமானியை வகைப்பாடு செய்தல்—மூன்றுவிதத் திட்டங்கள்—திரவ உஷ்ணநிலைமானியின் சில விசேஷ அமைப்புகள்—உடல் உஷ்ணநிலைமானி—ருதர்போர்டின் உச்ச நீச உஷ்ணநிலைமானிகள்—ஸிக்ஸின் உச்ச நீச உஷ்ணநிலைமானி.]

அத்தியாயம் 2

திடப்பொருள்களின் அகற்சி (Expansion of Solids)

[திடப் பொருள்கள் சூடேற்றப்பட்டால் அகற்சி அடைதலும் சூடு குறைக்கப்பட்டால் சுருங்குதலும்—திடப் பொருளின் நீட்சிப் பான்மை—நீட்சிப் பான்மையை அளக்க முறைகளும் உபகரணங்களும்—பரப்பு அகற்சியும் பருமையகற்சியும்—நீட்சிப் பான்மை, பரப்பு அகற்சிப் பான்மை, பருமை யகற்சிப் பான்மை, இவைகளுக்குள்ள உறவுகள்—ஒரு பொருளின் சூடும் அதன் செறிவும்—அகற்சியின் விளைவுகளும் சில உதாரணங்

களும்—கிரஹாமின் பாதரச நாலம்—சட்டக நாலம்—கடியாரத்தின் துலிச்சக்கரம்.]

அத்தியாயம் 3

திரவப் பொருள்களின் அகற்சி
(Expansion of Liquids)

[திரவத்தின் பருமை—அகற்சிப்பான்மை—அகற்சிமானி—தோற்ற அகற்சிப் பான்மை—தனியியல் அகற்சிப் பான்மை—எடை உஷ்ண நிலைமானியால் ஒரு திரவத்தின் தோற்ற அகற்சிப் பான்மையைக் காண—பைக்னுமீடர்—பாதரசத்தின் உண்மை யகற்சிப் பான்மையைக் காண ரீனோவின் முறை—ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவத்தால் திரவத்தின் பருமையகற்சி காணல்—வெவ்வேறு சூடுகளில் திரவங்களின் அகற்சிப் பான்மை—தண்ணீரின் விபரீதப்போக்கு—ஹோப்பின் கருவி—சூட்டினால் ஏற்படும் அகற்சிக்காக பாரமானியின் வாசகத்தில் செய்யவேண்டிய திருத்தங்கள்.]

அத்தியாயம் 4

வாயுக்களின் அகற்சி (Expansion of Gases)

[வாயுக்களின் சிறப்பியல்பு—வாயுவின் மாறு இறுக்கப் பருமை—அகற்சிப் பான்மையும் மாறுப் பருமை இறுக்க மிகுதிப் பான்மையும்—இவ்விரண்டு பான்மைகளின் சமத்துவம்-சார்லஸின் விதி-மாறுத இறுக்கத்தில் α வைக்கணக்கிட பரிசோதனைகள்—மாறுத பருமையில் α வைக்காண ஒரு உபகரணமும் பரிசோதனையும்—ஒரு உருவகம் வரைந்து α வைக்கணக்கிட

—வாயு உஷ்ண நிலைமானி—தனியியல் சூடு—தனியியல் சூன்யம்—கெல்வின் திட்டம்—வாயுச் சமீகரணம்.]

அத்தியாயம் 5

வெப்பத்தை அளத்தல் (Calorimetry)

[வெப்ப அளவு—ஒரு பொருளுக்குக் கொடுக்கப் பட்ட வெப்பத்தின் அளவு அப்பொருளின் நிறைக்கும் அதிலேற்பட்ட சூட்டின் உயர்வுக்கும் ஏற்றது—வெப்ப அலகுகள்—வெப்பம் ஏற்கும் திறமையும் வெப்ப உரிமையும்—வெப்ப உரிமையின் வரைவிலக்கணம்—நீர் ஒப்புமை—உஷ்ண நிறைமானி—மிசிரவிதி—திட, திரவப் பொருள்களின் வெப்ப உரிமையைக் காணப் பரிசோதனைகள்—சூடும் வெப்ப உரிமையும்—ட்யூலாங் பெடிட் விதி.]

அத்தியாயம் 6

நிலைமை மாறுதலும் கரவு வெப்பமும் (Change of State and Latent Heat)

[நிலைமைகளின் தொடர்பு—பொருள்கள் நிலை மாறும்போது காணப்படும் நடவடிக்கைகள்—கரவு வெப்பம்—கொதிநிலை கரவு வெப்பமும் உருகு நிலை கரவு வெப்பமும்—நீரின் கரவு வெப்பத்தைக் காணும் முறை—நீராவியின் கரவு வெப்பத்தைக் காண—புன்ஸன் பனி உஷ்ண நிறைமானி—ஜாலியின் நீராவி உஷ்ண நிறைமானி—குளிர் வரை வரைந்து உருகு நிலையைக் காணல்—அதீதக் குளிர் நிலை—ஒரு பதார்த்தத்தின் உருகு நிலையைக் காண முறைகள்—கொதித்தலும்

கொதிநிலையும்—திரவங்கள் கொதிக்கும்போது உற்று நோக்கவேண்டிய சில இயல்புகள்—திரவங்களின் கொதி நிலை காண—இறுக்கமும் கொதிநிலையும்—இறுக்கம் குறைந்தால் கொதிநிலை தாழும் என்று பரிசோதனை யால் காட்ட—கொதித்தலும் ஆவியாதலும்—ஆவி யாகும்போது ஏற்படும் குளிர்ச்சி—இதைப் பரிசோதனை யால் காட்டும் முறை—நிலை மாறுதலால் ஏற்படும் பருமை மாறுபாடு—இறுக்கம் அதிகரிப்பதால் உருகு நிலை தாழ்தல்—புடகரித்தல்.]

அத்தியாயம் 7

ஆவி இறுக்கம்—ஈர அளவியல்
(Vapour Pressure and Hygrometry)

[பதார்த்தங்களின் மூலக அமைப்பும் ஆவியாத லும்—ஆவி இறுக்கம்—தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கம் சூட் டோடு அதிகரிக்கும்—தெவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கம் அது அடைபட்டிருக்கும் இடத்தின் பருமையைச் சார்ந்ததல்ல—தெவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கம் அத னோடு கலந்திருக்கும் மற்ற வாயுக்களினால் பாதிக்கப் படாது—அறையினது சூட்டில் ஆவியின் தெவிட்டிய இறுக்கத்தைப் பரிசோதனையால் காண—தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கமும் பருமையும்—தெவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கம் அதன் பருமையைச் சார்ந்ததல்ல—பாயிலின் விதி தெவிட்டிய ஆவியின் விஷயத்தில் செல்லாது—தெவிட்டிய ஆவியும் காற்றும்—ஒரு பரிசோதனையால் தெவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கம் காற்றுடன் கலப்பதால் மாறுபடவில்லை என்று அறிய—பலவேறு சூடுகளிலேற் படும் ஆவி இறுக்கங்களைக் கண்டு ஒரு உருவகம் வரைய —ஆவிகளைப்பற்றிய டால்டன் விதிகள்—தெவிட்டாத

ஆவிகள் :—தெவிட்டாத ஆவிகள் ப்ரயிலின் விதிக்கும் சார்லஸ் விதிக்கும் உட்பட்டிருக்க வரம்புகள்—இவற்றை ஒரு உருவகம் வரைந்து காண—ஆவிகளை திரவமாக்குதலும் அவதிச் சூடும்—தட்பயந்திரமும் பனிக்கலமும்—இவைகளில் தொழிற்படும் திரவங்கள்—கொதித்தல்—கொதிப்பதற்குரிய நிபந்தனை—கொதிக்கும் திரவத்தின் ஆவி இறுக்கம் அதன் பரப்புமீதுள்ள இறுக்கத்திற்குச் சமமானது என்று காட்டப் பரிசோதனை—ஒரு திரவத்தின் கொதிநிலையைக் காண—திரவத்தில் கரைந்துள்ள பொருள்களால் அதன் கொதிநிலை பாதிக்கப்படுவது—இறுக்க மாறுபாடு கொதிநிலையைப் பாதித்தல்—பல வேறு சூடுகளில் தண்ணீரின் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கங்களைப் பரிசோதனையால் காணல்—பவனத்தின் ஈரம்—ஒப்புமை ஈரம்—பனிதோன்றலும் பனி நிலையும்—பனி உண்டாகும் விதம்—ரீஞோவின் ஈரமானியால் பனி நிலை காண—மேஸன் ஈரமானி—டேனியல் ஈரமானி—டைன் ஈரமானி—இரசாயன ஈரமானி.]

அத்தியாயம் 8

வெப்பம் பரவுதல் (Conduction of Heat)

[மூன்று வகை வெப்பம் பரவும் விதங்கள் :—உகைத்தல், விரவுதல், கிரணித்தல். இவற்றை விளக்க ஒரு உபமானம்—உகைவிகளும் தகைவிகளும்—உலோகங்கள் மற்ற பொருள்களைவிடச் சிறந்த உகைவிகள் என்று நிரூபிக்கப் பரிசோதனைகள்—வெப்ப உகைவுப் பான்மை—வெப்ப உகைவுப் பான்மைகளை ஒப்பிடுதல்—ஒரு உலோகக் கம்பியின் வெப்ப உகைவுப்பான்மையை அறிய 'ஸர்ல்' என்பவரின் உபகரணம்—திரவங்களின் உகைவுப்பான்மையும் வாயுக்களின் உகைவுப்பான்மையும்—தண்ணீர் சிறந்த உகைவியல்ல என்பதைக் காட்டப் பரி

சோதனை—ஆருத கலங்கள்—'டேவி' யின் கை விளக்கின் தத்துவம்—திரவங்களிலும் வாயுக்களிலும் ஏற்படும் விரவல்—தண்ணீரில் வெப்பம் பரவும் விதத்தைக் காண ஒரு பரிசோதனை—பவனத்திலேற்படும் விரவல் அருவிகள் — வீடுகளில் காற்றோட்டம் — சூருவளியும் புயற்காற்றும்—கிரணித்தல் அல்லது கதிர்ப்பு—ஒளிக் கிரணங்களும் வெப்பக் கிரணங்களும்—கிரண வெப்பத்தை அளக்கும் கருவிகள்—வேற்றுமை உஷ்ணநிலை மானி—ஈதர் வேற்றுமை உஷ்ணநிலைமானி — சூட்டிணைப்புக் கருவி—வெப்பக் கிரணங்கள் பரவுதல்—வெப்பக் கிரணங்கள் பிரதிபலித்தல்—பரிசோதனை—ஒளிக் கிரணங்களைப்போன்று அவை பிரதிபலன விதிகளுக் குட்படுதல்—வெப்பக்கிரணங்களின் கோட்டம்—வெப்பத் தெளிபொருள்களும் வெப்பத் தகைபொருள்களும் —வெப்பத் தெளிவியல்புகளை ஒப்பிடுதல்—கான்றல் திறமையும் உறிஞ்சு திறமையும் சமம்—நியூட்டன் குளிர்தல் விதி—குளிர்தல் முறையினுல் ஒரு திரவத்தின் வெப்ப உரிமையைப் பரிசோதனையால் அறிய.]

அத்தியாயம் 9

வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமை

(Dynamical Equivalent of Heat)

['ரம்போர்ட்', 'டேவி', 'ஜூல்' என்பவர்களின் வெப்பத்தைப்பற்றிய ஊகைகள்—வெப்ப இயக்கவியல் முதல் விதி—இயக்கவியல் ஒப்புமை—பரிசோதனையால் J-யினளவைக் காண கருவியும் தொழில் முறையும்—நீராவி என்ஜின்—அதன் பல்வேறு பாகங்களும் தொழிற்படும் முறையும்—கரிவாயு என்ஜின்—ஒட்டோ சுழல்.]

ஒளியியல் (LIGHT)

அத்தியாயம் 1

ஒளியின் இயல்புகளும் அதை அளத்தலும்
(Characteristics of Light and Photometry)

[ஒளியின் தன்மை—சுயம்பிரகாசமான பொருள்களும் சுயம்பிரகாசமில்லாதபொருள்களும்—மின்காந்த அலைகளும் வெப்ப வெளிச்ச அலைகளும்-தெளிபொருள்கள், தகை பொருள்கள், மங்கிய பொருள்கள்—ஒளியின் நேர்கோட்டுச் செலவு—பல கிரணங்களின் சேர்க்கை—நேர் கோட்டுச் செலவை விளக்கிக் காட்டப் பரிசோதனை—ஊசிக்கண் பெட்டியின் தத்துவம்—சாயை, உபச்சாயை ஏற்படும் விதம்—கிரகணங்கள் உண்டாகும் விதம்—ஊற்றுக்கண்ணின் பிரகாசம்—ஒளியலகு—ஒரு பரப்பின் வெளிச்சம்—வருக்கமறிப்பு விதி—வத்தியின் ஒளிதரும் திறமை—கட்டளை ஊற்றுக்கண்—ஒளிமானியின் தத்துவம்-ரம்போர்டின் ஒளிமானி—புன்ஸன் ஒளிமானி—ஜாலியின் ஒளிமானி—இவ்வொளிமானிகளால் இரு ஊற்றுக்கண்களை ஒப்பிடுதல்.]

அத்தியாயம் 2

சமதளப் பரப்புகளில் பிரதிபலித்தல்
(Reflection at Plane Surfaces)

[சமதளப் பரப்புகளில் ஒளியின் பிரதிபலன விதிகள்-இவற்றைப் பரிசோதனையால் சரிபார்த்தல்—மெய்ப்படிவங்களும் பொய்ப்படிவங்களும்— ஒரு சமதள ஆடி

யில் காணப்படும் ஒரு புள்ளியின் படிவத்தின் நிலையை நிர்ணயித்தல்—படிவத்தின் நிலையைப் புடைபெயர்ச்சி முறையால் காணுதல்—படிவத்தை வடிவியல் முறையால் காண—பருப்பொருளின் படிவம்—இரண்டு சமதள ஆடிகளில் பிரதிபலித்தல்—இரண்டு இணையான ஆடிகளில் படிவங்களைக் காணல்—ஒரு புறத்துவிளிம் பொன்றிய ஆடிகளில் ஏற்படும் படிவங்கள்—ஆடிகளினிடையே ஒரு செங்கோணம் ஏற்படும்போது உண்டாகும் படிவங்களைக் காண—ஆடிகளினிடையே 60 கோணம் இருக்கும்போது உண்டாகும் படிவங்கள்—சமதள ஆடியின் சுழற்சி—மீளும் கிரணம் ஆடி சுழலும் கோணத்தைப்போல் இருமடங்கு சுழலும் என்று நிரூபிக்க—ஆடிகளைச் சுழற்றிச் சிறு கோணங்களை அளத்தல்—விளக்கும் அளவியும், அளவி தூரதரிசனி முதலிய சாதனங்கள்—அறு கால் என்னும் கருவி.]

அத்தியாயம் 3

சமதளப் பரப்புகளில் ஒளிக்கோட்டம்

(Refraction at Plane Surfaces)

[ஒளிக்கோட்டத்தைச் சிறிய பரிசோதனைகளால் விளக்குதல்—ஒளிக்கோட்ட விதிகள்—கோட்டப் பான்மை—ஒளிக்கோட்ட விதிகளைச் சரிபார்த்தல்—கோட்டிய கிரணம் செல்லும் பாதையை வடிவியல் முறையால் நிர்ணயித்தல்—ஒரு கண்ணாடிப் பலகையின் வழியாக ஏற்படும் ஒளிக்கோட்டம்—ஒளிக்கோட்டத்தால் ஏற்பட்ட ஒரு புள்ளியின் படிவம்—ஒளிக்கோட்டத்தால் ஏற்படும் பிறைக்கோடு—புடை பெயர்ச்சி முறையினால் படிவத்தைக் கண்டு கோட்டப் பான்மையைக் கணக்

கிடல்—பிறை வளைவை வரைய—திரவத்தின் கோட்டப் பான்மையைக் காண—பூரண அந்தரப் பிரதிபலனமும் அவதிக்கோணமும்—பூரண அந்தரப் பிரதிபலனத்தைப் பல நிகழ்ச்சிகளில் காணல்—அவதிக் கோணத்தைக் கண்டு ஒரு திரவத்தின் கோட்டப் பான்மையை அறியப் பரிசோதனையும் அதன் தத்துவமும்—பேய்த்தேர் அல்லது கானல் நீர்—ஒளி வீழ்ச்சி—முப்பட்டையில் ஒளிக்கோட்டம்—கோட்டப் பான்மைக்கு வாய்பாடு—ஒரு முப்பட்டையின் கோட்டக் கோணத்தை அளவிட—நீச விலக்கத்தை உருவகம் வரைந்து காண—நீச விலக்கத்தைக் காண சில முறைகள்—ஒரு திரவத்தின் கோட்டப் பான்மையைக் காணும் முறை—முப்பட்டையில் அவதிக் கோணத்தைக் கண்டு கோட்டப் பான்மையைக் கணக்கிடல்—பூரணப் பிரதிபலன முப்பட்டைகள்.]

அத்தியாயம் 4

கோளப் பரப்புகளிலேற்படும் பிரதிபலனம்
(Reflection at Spherical Surfaces)

[கோள ஆடிகள்—அவைகளைப்பற்றிய மரபுச் சொற்கள்—குவிய நீளத்திற்கும் வளைவு ஆரத்திற்கும் உள்ள உறவைக் காண—கோள ஆடிகளில் குறியீடுகளைப்பற்றிய மரபு—பொருள், படிவம், குவியம் ஆகிய இம்மூன்றின் தூரங்களைக் காட்டும் உறவைக் காண—பிணையல் புள்ளிகள்—ஒரு பருப்பொருளின் படிவத்தை வடிவியல் முறையால் காண-படிவத்தின் பெருக்கத்திற்குரிய வாய்பாடு—குழியாடியைக்கொண்டு செய்யும் சில பரிசோதனைகள்—வளைவு ஆரத்தை அளக்க—குவிய நீளத்தைக் கண்டுபிடிக்க—ஒரு உருவகம் வரைந்து

குவிய நீளத்தை அளத்தல்—வளைவு ஆரத்தை அளவிடுதல் முறை—குழி ஆடியில் படிவங்களின் நிலைகளைப் புடை பெயர்ச்சி முறையால் நிர்ணயித்தல்—குவி ஆடியைக்கொண்டு செய்யும் சில பரிசோதனைகள் :—குவிய நீளத்தை அளத்தல், படிவத்தின் நிலையைக் காணுதல்—கோளவியல் விதிர்ப்பும் பிறைக்கோடும்—இணைக்கவட்டுஆடிகள்—படிவம் புலப்படுவதற்குக் காரணமான கிரணங்களின் போக்கை வரைதல்.]

அத்தியாயம் 5

வில்லைகள் (Lenses)

[குவி வில்லையும் குழி வில்லையும்—இவைகளில் பல உட்பிரிவுகள்—வில்லைகளின் பிரதம குவியமும் குவிய நீளமும்—வில்லையின் ஒளியியல் மையம்—வில்லைகளில் நீளங்களை அளப்பதற்குரிய குறியீடுகளின் மரபு—படிவத்தை வடிவியல் முறையில் காண தத்துவங்கள்—குழி வில்லையிலும் குவி வில்லையிலும் u, v, f என்னும் தூரங்களினிடையேயுள்ள உறவைக் காண—பெருக்கத்திற்குரிய வாய்பாடு—பிணையல் குவியங்கள்–இரண்டு வில்லைகளின் சேர்க்கையும் பயனிலைக் குவியமும்—வில்லைகளைக்கொண்டு செய்யும் பரிசோதனைகள் : வில்லையின் இயல்பைக் காணுதல்—குவி வில்லையின் குவிய நீளத்தைக் காணப் புடை பெயர்ச்சி முறை—வில்லைகளை இடமாற்றும் முறை—இம்முறையால் குவிய நீளத்தை அளப்பதற்கு வாய்பாடும் பரிசோதனையும்—குவி வில்லையின் குவிய நீளத்தை ஒரு சமதள ஆடியினுதவியால் அளத்தல்-- குழி வில்லைகளைக்கொண்டு செய்யும் பரிசோதனைகள் :—குவிய நீளத்தைக் காணும் முறைகள்—ஒரு

குழி வில்லையையும் குவிவில்லையையும் கொண்டு குழி வில்லையின் குவிய நீளத்தைக் காண முறையும் விளக்கமும்.]

அத்தியாயம் 6

ஒளியியல் கருவிகள் (Optical Instruments)

[உருவப்படப் பெட்டியின் அமைப்பும் உருவப் படம் எடுக்கும் முறையும்—கண்ணின் அமைப்பும் அதன் பல பாகங்களின் தொழில் முறையும்—பார்வையிலேற்படும் ஊனங்களும் அவற்றை நிவர்த்தி செய்யும் முறைகளும் :—சாளேசரம், வெள்ளெழுத்து, பார்வை மூப்பு, ஒருதளப் பார்வை—வீச்சு விளக்கினல் ஒரு படத்தின் விரிந்த படிவத்தைத் திரையில் தோற்றுவித்தல்-சாமானிய அணுதரிசனியின் தத்துவம்-அதன் அமைப்பும் தொழில் முறையும்-பெருக்கத்திறமை-ஒரு குவிவில்லையின் பெருக்கத்திறமையைப் பரிசோதனையால் அளவிட—சூக்ஷ்ம அணுதரிசனி—தொழில் முறையும் பெருக்கத் திறமையும்—வானவியல் தூரதரிசனி :—அதன் பகுதிகள், உபயோகப்படும் விதம்—பெருக்கத் திறமை—ஒரு தூரதரிசனியைச் செய்து பெருக்கத் திறமையைக் காண-கலிலியோவின் தூரதரிசனி—ஆபெராக் கண்ணுடி—நிறமாலைமானி :—அதன் பகுதிகள், அவற்றின் செயல் முறை—நிறமாலைமானியைச் சரிப்படுத்தும் முறை—ஒரு முப்பட்டையின் கோணத்தை நிறமாலை மானியைக்கொண்டு அளக்கும் முறை—அதன் நீச விலக்கத்தையும் அளந்து கோட்டப் பான்மையைக் கணக்கிடல்.]

அத்தியாயம் 7

ஒளிச்சிதறல், நிறமாலை அளவியல்

(Dispersion and Spectroscopy)

[ஒளிச் சிதறலைக் காணப் பரிசோதனை—வெண்ணிற ஒளியே பன்னிற ஒளிகளாகப் பிரிகிறது என்று காண—நியூட்டனின் வர்ணத்தட்டு—தூய நிறமாலை உண்டாக்க நிபந்தனைகளும் அதைக் காணப் பரிசோதனையும்—நிறமாலை வகைகள்—தொடர் நிறமாலை—வரிநிறமாலை—அருந்து நிறமாலை—சௌர நிறமாலையும் பிரான்ஹோபர் வரைகளும்—நிறமாலைப் பாகுபாடு—கண்ணுக்குப் புலப்படாத கிரணங்கள். அகச் சிவப்புக் கதிர்களும் புற ஊதாக் கதிர்களும்.]

ஒலியியல் (SOUND)

அத்தியாயம் 1

ஒலி உண்டாகும் விதமும் பரவும் விதமும்
(Production and Propagation of Sound)

[ஒலி உண்டாகும் விதம்—ஒலி துடிப்பினுல் ஏற்படுகிறது என்று காணப் பரிசோதனை—ஒலியின் யானம்—பாழிடத்தில் ஒலி செல்லாது என்று காட்ட—ஒலி ஒளியைவிட மிகக் குறைவான வேகத்துடன் செல்லல்—காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்க ஒரு முறை— தண்ணீரில் ஒலியின் வேகம்—ஒலியின் பிரதிபலனம்—ஒலியின் பிரதிபலனம் ஒளியைப்போல நிகழ்கிறது என்று காட்டப் பரிசோதனைகள்—எதிரொலியால் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிட.]

அத்தியாயம் 2

எளிய இசை இயக்கமும் அலை இயக்கமும்
(Simple Harmonic Motion and Wave Motion)

[துடிப்பின் பொழுது—எளிய இசை இயக்கத்தின் விளக்கம்—பொழுது, வீச்சு, கலை முதலிய பதங்களின் பொருள்—எளிய இசை இயக்கத்தில் கதியும் முடுக்கமும்—சாமானிய நாலத்தில் எளிய இசை இயக்கம்—எளிய இசை இயக்கத்தை உருவகப்படுத்தும் முறை—அலை இயக்கம்—நீரில் அலைகள்—குறுக்கலைகள்—நெட்டலைகள்—க்ரோவாவின் தட்டுப் பரிசோதனை—ஒலி அலைகள்—நெட்டலைகளை உருவகப்படுத்துதல்—

ஒலி அலைகள் காற்றை உடன்கொண்டு செல்லவில்லை என்று பரிசோதனையால் காட்ட—அலை இயக்கத்தின் இயல்புகளும் முன்னேறும் அலைகளும்—நிலையான அலைகளின் இயல்புகள்—நிலையான அலைகள் ஏற்படுவதைக் காணப் பரிசோதனை.]

அத்தியாயம் 3

இசை யொலிகள் (Musical Sounds)

[இசையொலியின் வகைகள்—அவற்றின் அம்சங்கள்—சுருதி ஒலியின் அடுக்கத்தைச் சார்ந்தது என்று காட்ட உபகரணங்கள்—பல் சக்கரம், சல்லடைத்தாரை—தாரையினுதவியால் ஒரு ஒலியின் அடுக்கத்தைக் கணக்கிட—முழக்கம்—பண்பு—இசையியல் இடைகள், ஸ்வரக்ரமங்கள்—கேள்வி வரம்புகள்—விம்மல்—விம்மல் உண்டாவதைக்காட்டுமொரு பரிசோதனை.]

அத்தியாயம் 4

தந்திகளின் குறுக்குத்துடிப்பு (Transverse Vibrations of Strings)

[இழுத்துக் கட்டப்பட்டதொரு தந்தியின் துடிப்பு அடுக்கம்—அடுக்கத்தின் வாய்பாடு—தந்திகளிலேற்படும் குறுக்குத்துடிப்புகளின் விதிகள்—சுருதிமானி—இக்கருவியினால் குறுக்குத் துடிப்புகளின் விதிகளைச் சரிபார்த்தல்—சுருதிமானியினுதவியால் ஒரு சுருதியின் தனியியல் அளவைக் காணுதல்—பரிவாரச் சுருதிகள்—மெல்டியின் பரிசோதனை—இப்பரிசோதனையால் ஒரு இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தை அறிய.]

அத்தியாயம் 5

உடனியக்கம் (Resonance)

[தன் வயமான துடிப்பும் பிறவயமான துடிப்பும் —காற்று நிரைகளில் தோன்றும் உடனியக்கம்— அதன் விளக்கம்—காலத்தின் உடனியக்கத் துடிப்பு— இசைக்கவட்டின் முழக்கம்—அன்றாட வாழ்க்கையில் காணும் உடனியக்க நிகழ்ச்சிகள்—ஒரு புறம் மூடியுள்ள குழாயின் நீளத்திற்கும் அதனுள்ளிருக்கும் காற்று நிரையின் அடுக்கத்திற்குமுள்ள தொடர்பு—காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைப் பரிசோதனையால் கணக்கிட— கரியிருதீயதையிலும் நீரகத்திலும் ஒலியின் வேகத் தைக் கண்டுபிடிக்க—ஒலியின் வேகம், சூடு, இறுக்கம் ஆகியவற்றால் பாதிக்கப்படுதல்—ஒரு இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தைக் காண உடனியக்கப் பரிசோதனை— இரண்டு இசைக்கவடுகளின் அடுக்கங்களை ஒப்பிட— குழாய்களில் காற்று நிரைகள் துடிக்கும் வகைகளும் அவற்றின் அடுக்கங்களும்—சட்டங்களிலேற்படும் நெட்டுத்துடிப்புகள்—ஒரு சட்டத்தில் ஒலி செல்லும் வேகத்தைக் கணக்கிட—காற்றிலும் மற்றொரு வாயு விலும் ஒலி செல்லும் வேகங்களைக் கணக்கிட.]

அத்தியாயம் 6

ஒலிப்பதிவு (Sound Recording)

[இசைத்தட்டுகளில் ஒலிப்பதிவு செய்யும் முறை —கிராமபோனின் அமைப்பு—மௌனப்படங்கள்— அவற்றின் தத்துவம்—படம் எடுக்கும் முறையும் திரை யில் தோன்றச் செய்தலும்—பேசும் படங்கள்—அவற் றைப் பிடிக்கும் பழைய முறைகள்—ஒலியைப் படம் பிடித்தல்—ஒளியியல் மின்கடம்—படங்களைத் திரை யில் பேச வைத்தல்- ஒலிப்பதிவு முறைகள்-மின்னியல் ஒலிப்பதிவு முறை.]

காந்தவியல் (MAGNETISM)

அத்தியாயம் 1

இயற்கைக் காந்தங்களும் செயற்கைக் கா்ந்தங்களும் (Natural and Artificial Magnets)

[இயற்கைக் காந்தங்களும் செயற்கைக் காந்தங்களும்—காந்தங்களின் சில இயல்புகள்—பூமியே ஒரு பெரிய காந்தம்—ஒரு பொருளின் காந்தவியல்பை அறிதற்குப் பரிசோதனை—காந்தத்தூட்டம்—காந்தத்தின் காப்புத் திறனும் ஏற்புத் திறனும்—பரிசத்தால் காந்தமேற்றும் முறைகள்—ஒருதலைத் தேய்ப்பு—இருதலைத் தேய்ப்பு—மின்காந்த முறை—கூட்டுக் காந்தங்கள்—காந்தவியல்பு அழிதல்—காந்தத்தின் மூலகக் கொள்கை.]

அத்தியாயம் 2

கூலம்பின் விதி (Coulomb's Law)

[காந்தத் துருவங்களின் கவர்ச்சி, தவிர்ச்சி விதி—அலகுத் துருவம்—காந்தப் புலமும் சக்தி வரைகளும்—சக்தி வரையை வரைய முறைகள்—சக்தி வரைகளின் இயல்புகள்—பூமியின் காந்தப் புலம்.]

அத்தியாயம் 3

காந்த அளவியல் (Magnetometry)

[பூமியின் புலத்திலிடப்பட்ட ஒரு காந்தத்தின் மீது தொழிற்படும் சக்திகள்- ஒரு காந்தத்தைச் சார்ந்த

புலத்தின் வலிமையைக் கணக்கிட—முனைநோக்கு நிலையும் புறநோக்கு நிலையும்—காந்தச் சட்டம் பூமியின் புலத்தில் வைக்கப்பட்டபோது உண்டாகும் பயனிலைப் புலத்தை வரைதல்—காந்தத்தின் துருவ நிலைகளைக் காண முறைகள்—காந்தமானி:—ஒற்றைத் துருவத்தின் வலிமையை அளத்தல்—காந்தப் புலன்களை ஒப்பிடுதல்—ஒரு காந்தச் சட்டத்தால் ஏற்படும் புலம்—இரண்டிடங்களில் பூமியின் காந்தப் புலங்களின் படுகைப் பிரிநிலைகளை ஒப்பிட முறைகள்—இரண்டு காந்தச் சட்டங்களின் காந்தத் திருப்பியல்களை ஒப்பிடுதல்—வருக்க எதிர்விகித விதியைச் சரிபார்த்தல்—ஒரு காந்தப் புலத்தில் தொங்கவிடப்பட்ட காந்தத்தின் ஆட்டம்—துடிப்புக் காந்தமானி—இக்கருவியால் செய்யப்படும் பரிசோதனைகள் :—பூமியின் படுகைப் புலத்தை இரண்டிடங்களில் ஒப்பிடுதல்—வருக்க எதிர்விகித விதியைச் சரிபார்த்தல்—காந்தத்தால் ஏற்படும் புலத்தை ஓரிடத்தில் அளத்தல்—இரண்டு குட்டையான காந்தங்களின் திருப்பியல்களை ஒப்பிடுதல்.]

அத்தியாயம் 4

பூமியின் காந்தவியல் (Terrestrial Magnetism)

[பூமியின் புலம்—கூட்டுப் புலத்திற்கும் பிரிநிலைப் புலங்களுக்கும் உள்ள உறவுகள்—பக்கச் சாய்வும் ஞாலப் படங்களும்—காந்த மூலகங்கள்—பெயர்ச்சியை அளத்தல்—காந்த துருவகத்தை ஓரிடத்தில் காணும் முறை—இறக்கத்தை அளத்தல்—பூமியின் படுகைப் புலத்தை அளத்தல்—பூமியின் புலத்தினாலேற்படும் மாறுபாடுகள்.]

அத்தியாயம் 5

காந்தவியலில் சில விசேஷ அம்சங்கள்
(Hysteresis, Para, Dia, magnetism)

[காந்தவியல் தயக்கம்—இத்தயக்கத்தின் இயல்பைக் காணப் பரிசோதனையும் உருவகமும்—பல உலோகங்களில் காந்தவியல்பு காணப் பரிசோதனைகள்—அயக்காந்தங்களும் செறிவுக் காந்தங்களும்.]

மின்சாரவியல் (ELECTRICITY)

அத்தியாயம் 1

மின்-நிலையியல் (Static Electricity)

[மின்சாரச் சுமைகளில் இருவகை—இவற்றைக் காணப் பரிசோதனைகள்—ஒரு வகை மின்சாரச்|சுமை ஏற்படும்போது அதே அளவுள்ள மற்ற மின்சாரச் சுமையும் உண்டாகிறது என்று காண—உகையும் பொருள்களும் உகையாப் பொருள்களும்—பொன்னிலை மின்காட்டி—அதற்குச் சுமையேற்றும் முறை—மின் னிலையியல் விதிகளை விளக்குதல்—மின்காட்டியைத் தீட்டத்தால் சுமையேற்றும் முறை—ஊட்டத்தால் சுமை யேற்றுதல்—மின்சுமையின் குறியைக் காணும் வகை—இருவகை மின்சுமைகளும் ஒரே சமயத்தில் ஏற்படு கின்றன என்று காட்ட—பொருள்கள் ஏற்றுக்கொள் ளும் மின்சுமை மேற்பரப்பின்மீதே தங்கி இருக் கும்—மின்சுமை இயந்திரங்கள்: மின்னூற்று, விசிறி மின் யந்திரம்—மின்சாரச் சுமைகளின் சக்தி விதிகள்—மின்புலத்தின் உறைப்பு—மின்புலத்திலுள்ள சக்தி வரைகள்—நிலைப்பு—நிலைப்பு வேற்றுமை அலகுகளும் அவற்றின் உறவுகளும்—செ.கி.செ. அலகும் பிரயோக அலகும்—மின்னலும் இடியும்—இடிதாங்கியின் தத்து வம்.]

அத்தியாயம் 2

மின்சார அருவி (Current Electricity)

[மின்சார அருவியின் உபமிதி—நிலைப்பு வேற் றுமை—சாதாரண வால்டாய்க் கடம்—இதிலேற்படும்

குறைபாடுகளும் அவற்றை நிவர்த்திக்கும் முறைகளும் —'டேனியல்' கடத்தின் அமைப்பு—'லக்ளாஞ்ச்' கடமும் அதன் தொழிற்படு முறையும்—இரு குருமிகைக் கடம்—உலர்ந்த கடங்கள்—கட்டளைக் கடங்கள்—'குரோவின்' கடமும் 'புன்ஸனின்' கடமும்—துணைக் கடங்கள்—ஈயச் சேமம், எடிஸன் சேமம் ஆகியவற்றின் அமைப்பும் அவற்றிலேற்படும் இரசாயன மாறுபாடுகளும்—கடங்களை அணிவகுத்தல்:—தொடர் வகுப்பு, இணைவகுப்பு, இரு தொடர் வகுப்பு முதலியன —பலவித சாவிகளும் அவற்றின் உபயோகங்களும்— பலவித மாற்றங்களும் அவை தொழிற்படு முறையும்.]

அத்தியாயம் 3

மின்னருவியின் காந்தவியல் விளைவுகளும் மின்னோட்டமானியின் தத்துவமும்

(Magnetic Effects of Electric Current and Principle of Galvanometer)

[காந்தவியல் விளைவுகளைப் பரிசோதித்தல்—பரிசோதனைகளின் முடிவை எடுத்துக்கூறச் சில விதிகள்—அருவியை அதன் காந்தவியல் விளைவினால் அளத்தல்—அலகு அருவியின் இலக்கணம்—மின்னோட்டங் காட்டியின் தத்துவம்—பரிச மின்னோட்டமானியின் தத்துவமும் வாய்பாடும்—பரிச மின்னோட்டமானியின் அமைப்பும் அருவியை அளத்தற்கு அதைச் சரிப்படுத்துதலும் —இக்கருவியின் பெருக்ககுணியம்—இக்கருவியின் நுணுக்கத்தைக் கையாளும் முறைகள்—இயங்கு சுருள் மின்னோட்டமானியின் தத்துவம்—ஒரு உகைவியின் மீது தொழிற்படும் சக்தியின் பரிமாணத்தையும் திசை

யையும் காணும் விதிகள்—அவற்றைப் பரிசோதனை யால் சரிபார்த்தல், இயங்கு சுருள் மின்னோட்டமானி யின் வருணனை—ஆம்பியர் மானியும் மின்மட்டமானி யும்.]

அத்தியாயம் 4

ஓமின் விதியும் அதைச் சரிபார்த்தலும்
(Ohm's Law and Its Verification)

[சில பரிசோதனைகளின் முடிவும் ஓமின் விதியும் —'ஓம்' என்னும் அலகுத்தகைவு—ஓமின் விதியைச் சரிபார்த்தல்:—மின்மட்டமானி — ஆம்பியர்மானி முறை—பரிச மின்னோட்டமானி முறை—கடத்தின் முறை—தொடரிலும் பிணைவிலும் பிணைக்கப்பட்ட தகைவுகளின் பயனிலைத்தகைவு—தகைவும் உகைவும்— உரிமைத்தகைவின் வரைவிலக்கணம்—உரிமை உகைவு —கிளைப்பிரிவின் தத்துவமும் அதன் உபயோகமும்— முழுமையான மண்டலத்தில் ஓமின் விதையைப் பிர யோகித்தல்—தொடரிலும் இணைவிலும் பிணைக்கப் பட்ட கடங்களில் அருவியின் பலம்—உச்சநிலை அரு வியை அடைவதற்கு அமைப்பு— தகைவுகளையும் மின்னியக்க சக்திகளையும் அளத்தல்—தகைவுப்பெட்டி களின் வகைகள்—தகைப்பு.]

அத்தியாயம் 5

மின்னியல் அளவைகள்
(Electrical Measurements)

[தகைவை அளத்தல் :—ஈடிடும் முறை—வீட்ஸ்டன் வலையின் தத்துவம்—வீட்ஸ்டன் இணைப்பைக் கொண்டு தகைவை அளக்கும் முறை—தபால் ஆபீஸ் பெட்டியால் ஒரு தகைவை அளத்தல்—மின்னோட்டமானியின் தகைவை அளத்தல் :—அரைவிலக்க முறை—கெல்வின் முறை—மின்கல அடுக்கின் தகைவை அளக்கும் முறை—உருவகம் வரைந்து மின்கல அடுக்கின் தகைவை நிர்ணயித்தல்—கடங்களின் மின்னியக்க சக்திகளை ஒப்பிடுதல் :—மின்னோட்ட மானியையும் ஒரு தகைப்பையும் கொண்டு செய்யும் முறை—கூட்டல் கழித்தல் முறை—நிலைப்புமானி :—தத்துவம், வருணனை—இரண்டு கடங்களின் மின்னியக்க சக்திகளை ஒப்பிடுதல்—கூட்டல் கழித்தல் முறை.]

அத்தியாயம் 6

மின்னருவியின் வெப்பவியல் விளைவுகள்
(Heating Effects of Electric Current)

[அருவி தூன் செல்லும் உகைவியைச் சூடேற்றச் செய்தல்—விசையை அளப்பதற்கு அலகுகள்—ஜூலின் விதிகள்—இவ்விதிகளைச் சரிபார்ப்பதற்குப் பிரத்தியேகமான உஷ்ண நிறைமானி–J-யை அளக்கப் பரிசோதனைகள்—ஒரு திரவத்தின் வெப்ப உரிமையை அளத்தல்—ஜூலின் விதியைச் சரிபார்ப்பதற்குப் பரிசோதனைகள்

—$J.H=C^2Rt$ என்னும் உறவில் R, t மாறுதிருக்க வெப்பம் அருவியின் வருக்கத்திற்கு ஏற்பவுள்ளது. C, t மாறுதிருக்க வெப்பம் R-க்கு ஏற்பவுள்ளது—C, R மாறுதிருக்க வெப்பம் நேரத்திற்கு ஏற்பவுள்ளது.]

அத்தியாயம் 7

மின்னருவியின் இரசாயன விளைவுகள்
(Chemical Effects of Electric Current)

[மின்னூட்டமும் மின்னூட்டிகளும்—மின்னூட்டத்தை ஒரு பரிசோதனையால் காணல்—பாரடேயின் மின்னூட்ட விதிகள்—மின்னியல் இரசாயன ஒப்புமை—'ஓல்டா' மானி வகைகளும் அவற்றின் வருணனையும்—நீரகத்தின் மின்னியக்க ஒப்புமையைக் கணக்கிடப் பரிசோதனை—செம்பின் மின்னியக்க ஒப்புமையைக் கணக்கிட—பாரடேயின் விதிகளைச் சரிபார்க்கும் முறை—மின்னூட்டப் பரவல்—இயனிகரணம்.]

அத்தியாயம் 8

மின்சார சக்தியின் சில உபயோகங்கள்
(Technical Applications of Electricity)

[மின்காந்த சாதனங்கள் :—மின்சாரமணி—மின்சாரத் தந்தியில் செய்தி அனுப்பும் முறை—மோர்ஸின் ஒலிக்கருவி—அஞ்சல்—தொலைப்பேசி :—பெல் என்ப

வரின் தொலைப்பேசி-கரித்தூள் தொலைப்பேசி (மைக்)-செய்தி அனுப்பும் முறை—டைனமோ :—இதன் தத்துவம், உபயோகங்கள், வகைகள்—இதை இயக்கப் பயன் படும் சக்திகள்—மின்சார மோட்டார் :—தத்துவம், தொழில் முறை, உபயோகங்கள்—தழல் விளக்கு, சுடர் விளக்கு, மின்சார அடுப்பு இவைகளின் தத்துவமும் உபயோகங்களும்—மின்னாற்றலை அளத்தற்கு அலகு—மின்சார மீடர்—மின்னோட்டத்தின் உபயோகங்கள் :—மின் பூச்சிடும் முறை—மின்சார அச்செடுத்தல்—செப்புத் தகடுகளைச் சுத்தப்படுத்தும் முறை—மின்சாரக் கெட்டில்.]

அத்தியாயம் 9

பௌதிக இயலின் நவீனங்கள் (Modern Physics)

[ஒரு காந்தப் புலத்தின் வலிமை மாறுபடுவதால் மின்னருவி ஏற்படுகின்றதென்று காண—மின்சார ஊட்டவிதி-ஊட்டற் சுருளின் தத்துவம்-உயர்ந்த பாழ்மையுள்ள இடத்தில் மின்சாரப் பாய்ச்சல்—ஒரு பரிசோதனையால் மின்சாரப் பாய்ச்சலின் தன்மையைக் காண—குறைக்கதிர்களின் இயல்புகளைப் பரிசோதனையால் காண—மின்னுருக்களின் வாதம்—ஊட்டத்தால் மின் சுமை ஏற்றுவதின் விளக்கம்—'X' கிரணங்களின் உபயோகங்கள்—'X' கிரணக் குழாய்—இக்கிரணங்களின் இயல்புகள்-அணுவின் அமைப்பைப் பற்றிய முடிபுகள்-அவற்றைப்பற்றிய விசாரணைகள்—எளிய அணுக்களின் அமைப்பு—பரிதியம், கல்லியம் முதலிய அணுக்கள்—மிகை முனைக் கதிர்கள் :—ஜெ. ஜெ. தாம்ஸனின் ஆராய்ச்சி—'ஆஸ்டின்' என்பவ

ரின் முடிபுகள்—கதிரியக்கம் :—'ஹென்றி பெக்குவரல்' என்பவரின் ஊகை—கதிரியம் என்னும் தாது—கதிரியக்கக் கிரணங்களின் இயல்புகள்—இக்கிரணங்களின் வகைகளும் அவ்வவற்றின் தன்மைகளும்—கதிரியக்கச் சிதைவு—இரச வாதத்தின் உண்மை—அணுவை அமைத்தல்—அணு ஆற்றல்—தொலைப்பேசி, வானக தொலைப்பேசி அல்லது ரேடியோ—பேசுதலும் கேட்டலும்—கம்பி ஒலினியின் தத்துவமும் தொழிற் பாடும்—பெரும்பாலும் உபயோகப்படும் தொலைப்பேசியின் அமைப்பு—ஒளி அலைகளும் வானக அலைகளும்—வானக தொலைப்பேசியின் தத்துவம்—செய்தி அனுப்பும் முறை—துடிப்பகம், திருத்தகம் இவற்றின் தொழிற்பாடு—செய்தியை ஏற்கும் கருவி—வாணி, உடனியக்கி, ஒலியகம் ஆகியவற்றின் செயல்கள்—மின்காந்த அலைகளைப்பற்றிய விரிவுரைகள்—கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஒலிக் கிரணங்கள்—அகச் சிவப்புக் கிரணங்களும் புற ஊதாக் கதிர்களும்—வானக அலைகள்—விண்ணியல் கதிர்கள்.]

சொல்லகராதி (GLOSSARY)

அ

அகச்சிவப்புக் கிரணங்கள் - Infra red rays.
அகடு - Trough.
அகத்தகைவு - Internal resistance.
அகவடிவு - Shape.
அகற்சிமானி - Dilatometer.
அகேட் - Agate.
அக்கிரம் - Vertex.
அங்கவடி - Stirrup.
அங்குச நாளி - Siphon.
அங்குசப் பாரமானி - Siphon barometer.
அஞ்சல் - Relay.
அடர்த்திகள் - Condensations.
அடிப் பவுண்டல் - Foot-poundal.
அடி வரை - Base-line.
அடி வாய் - Plan.
அடிவாரம் - Base of Support.
அடுக்கம் - Frequency.
அடுக்கியல் வரை - Logarithmic curve.
அடை - Armature.
அட்சரேகை - Latitude.
அணிமை எல்லை - Near point.
அணு இயக்க வாதம் - Kinetic theory of gases.
அணு-எண் - Atomic number.
அணு-நிறை - Atomic weight.
அணு-வெப்பம் - Atomic heat.
அண்டைச்சிறை - Adjacent side.

அதீதக் குளிர்நிலை - Supercooling.
அநுருபகோணம் - Corresponding angle.
அந்திமம் - Antimony.
அ. ப. செ. திட்டம் - F. P. S. System.
அம்பர் - Amber.
அயக்காந்தவியல் - Ferro-magnetism.
அரத்தூள் - Iron Filings.
அருக்கம் - Retardation.
அருந்து தோதுதிகள் - Absorption bands.
அலிச்சம நிலைமை - Neutral equilibrium.
அலியுரு - Neutron.
அலோகம் - Non-metal.
அலை-இயக்கம் - Wave motion.
அவதிக் கோணம் - Critical angle.
அவதிச் சூடு - Critical Temperature.
அழுத்தம் - Thrust.
அளவி - Scale.
அளவியல் சாடி - Graduated jar.
அறச்சிறிது - Infinitely Small.
அக்ஷிப் படலம் - Retina.

ஆ

ஆக்கப்புள்ளி - Generating point.
ஆக்கம் - Influence.
ஆடி - Mirror.
ஆட்டமையம் - Centre of Oscillation.
ஆட்டம் - Oscillation.
ஆபேராக் கண்ணுடி - Opera glasses.
ஆம்பியர் - Ampere.
ஆம்பியர்மானி - Ammeter.
ஆயதம் - Ellipse.
ஆயம் - Co-ordinate.
ஆரகம் - Strontium.
ஆரக்கதிர் - Radius Vector.

ஆரங்கள்- Spokes.
ஆல்பா கிரணங்கள் - α (alpha) rays.
ஆவி அறை - Steam Chest.
ஆவி இறுக்கம் - Vapour Pressure.
ஆவிக்கண் - Steam Port.
ஆறுதகலம் - Thermos flask.
ஆற்றலின் அழிவின்மை விதி - Conservation of energy.
ஆற்றல் மதிப்பு - Energy level.
ஆற்றுக்கலம் - Condenser (Chemical).
ஆனக அடுக்கம் - Audio frequency.

இ

இசிவு - Stress.
இசைக்கவடு - Tuning fork.
இசைக்குழாய் - Organ pipe.
இசைக்கூடு - Sound box.
இசையியல் இடைகள் - Musical intervals.
இசையொலிகள் - Musical sounds.
இசை வரை - Sine curve
இச்சைப்படி நிறுத்தும் கடியாரம் - Stop-clock.
இடம்புரி - Anticlockwise.
இடை - Pitch of a screw.
இணைகரக் கட்டி - Parallelepiped.
இணைகரம் - Parallelogram.
இணைக்கவட்டு ஆடி - Parabolic mirror.
இணைக்கற்றை - Parallel pencil.
இணைத்தல் - Parallel connection.
இணைவதுப்பு - do.
இயக்க ஆற்றல் - Kinetic energy.
இயக்கவியல் ஒப்புமை - Dynamical equivalent.
இயங்கும் அணுதரிசனி - Travelling microscope.
இயந்திர சாதகம் - Mechanical advantage.
இயந்திரத்தின் திறமை - Efficiency of a machine.
இயந்திரவியல் - Mechanics.

இயற்கை அடுக்கம் - Natural frequency.
இயனி - Ion.
இயனி கரணம் - Ionisation.
இரசதக் கந்தகை - Mercurous sulphate.
இரசாயன ஆப்பு - Chemical constitution.
இரட்டினது திருப்பியல் - Moment of a couple.
இரட்டை - Couple.
இருதழி வில்லை - Biconcave lens.
இருதவி வில்லை - Biconvex lens.
இறக்கம் - Dip.
இறக்க வட்டம் - Dip circle.
இறுகிய காற்று - Compressed air.
இறுக்க உருவகம் - Barograph.
இறுக்க மானி - Manometer.
இறுக்கம் - Pressure.
இறைப் புருளை - Windlass.
இனப் பரிமாணம் - Same order of magnitude.

ஈ

ஈயக் கந்தகை - Lead Sulphate.
ஈர அளவியல் - Hygrometry.
ஈர மானி - Hygrometer.
ஈரரி - Bisector.

உ

உகைத்தல் - Conduction.
உகையாப் பொருள் - Non-conductor.
உகையும் பொருள் - Conductor.
உகைவி - Do.
உச்சக்கோட்ட வியல்பு - Most refrangible.
உச்ச நிலை - Maximum position.
உடல் உஷ்ணநிலைமானி - Clinical Thermometer.
உடனியக்கம் - Resonance.
உடனியக்கி - Tuner.

உடனியல் துடிப்பு - Sympathetic vibration.
உட்செவிச் சவ்வு - Basilar membrane.
உட்டுளை - Hollow.
உட்டுளை கொண்ட உருளை - Hollow cylinder.
உணர்வுக் கூர்மை - Sensibility.
உண்மை - Truthfulness.
உத்தி - Term.
உந்தத்தின் அழிவின்மை விதி - Conservation of momentum.
உந்தம் - Momentum.
உபகரணம் - Apparatus.
உபச்சாயை - Penumbra.
உபமிதி - Analogy.
உப்புக்கரை நீர் - Salt solution.
உயிரியல் - Biology.
உராய்வுச் சிக்கல் - Sliding friction.
உரிமைத்தகைவு - Specific resistance.
உருகிகள் - Fuses.
உருக்கிய பளிங்கு - Silica.
உருத்துலக்கி நீர் - Developer solution.
உருவப்படப் பெட்டி - Photographic camera.
உருளை - Cylinder.
உருளை வில்லை - Cylindrical lens.
உவரக்துறை கந்தகை - Sodium hypo-sulphite.
உவரச்சுடர் - Sodium flame.
உவரம் - Sodium.
உள்ளியம் - Arsenic.
உறிஞ்சு தாள் - Blotting paper.
உறிஞ்சு திறமை - Absorptive power.
உறை நிலை - Freezing point.
உறைப்பு - Intensity.
உறையும் கலவை - Freezing mixture.
உஷ்ணநிலைமானி - Thermometer.
உஷ்ண நிலைமானியியல் - Thermometry.
உஷ்ணநிறைமானி - Calorimeter.

ஊ

ஊகம் - Proposition.
ஊசிக்கண் பெட்டி - Pin-hole Camera.
ஊட்டச் சுருள் - Induction coil
ஊட்டத்தால் சுமையேற்றல் - Electrification by induction.
ஊட்டப்பான்மை - Inductance.
ஊடுருவி - Secant.
ஊதிதம் - Iodine.
ஊதுலை - Blow pipe.
ஊற்றுக்கண் - Source.
ஊற்றுப்பேனா - Fountain pen.

எ

எச்ச காந்தம் - Residual magnetism.
எடை - Weight.
எடை உஷ்ணநிலைமானி - Weight thermometer.
எதிரொலி - Echo.
எதிர்க் குறைமுனை - Anticathode.
எதிர் சக்திகள் - Unlike forces.
எதிர் தாக்கம் - Reaction.
எதிர்மறை - Negative.
எதிர்முடி - Antinode.
எதிர் வெர்னியர் - Reverse vernier.
எர்க்கு - Erg.
எளிய இசை இயக்கம் - Simple Harmonic Motion.

ஏ

ஏற்பநேராகவுள்ளது - Directly proportional.
ஏற்புத்திறன் - Susceptibility.

ஒ

ஒத்த சக்திகள் - Like forces.
ஒத்த தொடர்புள்ள அளவுகள் - Relative dimensions

ஒத்த தொடர்புள்ள தூரங்கள் - Relative distances.
ஒத்த தொடர்புள்ள மதிப்பு - Relative value.
ஒதுக்கிடம் - Clearing Space.
ஒதுங்குமையமாக - Eccentrically.
ஒப்புமை ஈரம் - Relative humidity.
ஒப்புமைச் செறிவு - Relative density.
ஒப்புமை நிறை - Equivalent mass.
ஒருதளப் பார்வை - Astigmatism.
ஒருவழிக் கதவு - Valve.
ஒரே தளச் சக்திகள் - Coplanar forces.
ஒரே தளம் - Same plane.
ஒரே போக்கு - Same sense.
ஒரே முக சுழற்சி முறையில் - In the same cyclic order.
ஒலி நாண்கள் - Vocal chords.
ஒலியகம் - Detector.
ஒளி இறுக்கமான - Light tight.
ஒளிக்கற்றை - Pencil of rays.
ஒளிக்கிரணம் - Ray of light.
ஒளிதரு திறமை - Illuminating power.
ஒளிநெருக்கம் - Intensity of Illumination.
ஒளிமானி - Photometer.
ஒளியாற்றல் - Light energy.
ஒளியியல் செறிவு மிகுந்தது - Optically denser.
ஒளியியல் மின்கடம் - Photo electric cell.
ஒளி வீழ்ச்சி - Luminous cascade.
ஒற்றைச்சிறகு விமானம் - Monoplane.
ஒற்றைத்தந்தி - Monochord.

ஓ

ஓரியல் பக்கச்சாய்வு வரைகள் - Isogonal lines.
ஓடி - Fluid.
ஓட்டோ சுழல் - Otto cycle.

க

கங்கண கிரகணம் - Annular solar eclipse.
கட்டி உருளை - Solid cylinder.
கடடு - Accommodation.
கணக்குப் புள்ளி - Mathematical point.
கணு - Link.
கண்காணி - Governor.
கண்டு - Robbin.
கண்டு - Spool.
கண்ணறைச்சாடி - Porous pot.
கண்ணி - Trap.
கண்ணினுள் மணி - Pupil.
கண்ணினது ஒத்தியங்குதிறம் - Accommodating power of the eye.
கண்பார்வையின் உச்ச தூரம் - Maximum distance of distinct vision.
கண் பார்வையின் நீச தூரம் - Least distance of distinct vision.
கதி - Velocity.
கதித்தகவு - Velocity ratio.
கதிரியக்கச் சிதைவு - Radio-active disintegration.
கதிரியக்கம் - Radio-activity.
கதிரை - Radian.
கதிர் - Spindle.
கதிர்க்கற்றை - Pencil of rays.
கதிர்ப்பு - Radiation.
கதிர்ப்புக் குறைவு - Radiation losses.
கதி வளைவு - Velocity curve.
கந்தகக்காடி - Sulphuric acid.
கந்தக இருதீயதை - Sulphur dioxide.
கந்தழி முளை - Infinity plug.
கப்பி - Block.
கரணம் - Construction.
கரவு வெப்பம் - Latent heat.

கரிநீர்ப்பாகு - Glycerine.
கரியாவி - Coal gas.
கரியிரு தீயதை - Carbon dioxide.
கரியிரு கந்தகை - Carbon-di-sulphide.
கருக்கள் - Nuclei.
கருவிழி - Iris.
கலவை - Alloy.
கலை - Minute.
கல்நார் - Asbestos.
கவராசம் - Pair of dividers.
கவர்ச்சி - Attraction.
கவர்ச்சி உரிமை - Specific gravity.
கவர்ச்சி மாறிலி - Gravitational constant.
கவர்ச்சி மையம் - Centre of gravity.
கவர்ச்சி விதி - Law of Gravitation.
கவிகை - Condenser (optical).
கவ்வி - Pinch cock.
கற்பனைப் பரப்பு - Imaginary surface.
கனலி - Calorie.
கனலிகை - Caloric.

கா

காடி - Acid.
காட்சிக்கோணம் - Visual angle.
காட்சியின் நீடிப்பு - Persistence of vision.
காட்சிப்பகுதி - Eye piece.
காண்போன் - Observer.
காந்த அளவியல் - Magnetometry.
காந்த இருசு - Magnetic axis.
காந்த ஊட்டம் - Magnetic induction.
காந்தச்சட்டம் - Bar magnet.
காந்தத் திருப்பியல் - Magnetic moment.
காந்தத்தின் மூலகக்கொள்கை - Molecular theory of magnetism.
காந்தத் துருவகம் - Magnetic meridian.

காந்தப் பற்றுதல் - Coercivity.
காந்தப் புயல் - Magnetic storm.
காந்தப் புலம் - Magnetic field.
காந்தமானி - Magnetometer.
காந்த மூலகங்கள் - Magnetic elements.
காந்தவியல் - Magnetism.
காந்தவியல் தயக்கம் - Hysteresis.
காந்தவியல்பு அழிதல் - Demagnetisation.
காப்புகள் - Keepers.
காப்புத்திறன் - Retentivity.
காமா கிரணங்கள் - γ (gama) Rays.
காலகக்காடி - Nitric acid.
காலகம் - Nitrogen.
காற்றின் தகைவு - Resistance of air.
காற்று அணை - Air cushion.
காற்றுக் கதவு - Air valve.
கான்றல் திறமை - Emissive power.

கி

கிடைப்படம் - Plane.
கிரணக்கற்றை - Pencil of rays.
கிரணித்தல் - Radiation.
கிராம் எடை - Gram weight.
கிலோகிராம் - Kilogram.
கிலோமீடர் - Kilometer.
கிளைப்பிரிவு - Shunt.

கீ

கீழெண் - Denominator.
கீற்றுகள் - Stripes.

கு

குடம் - Hub.
குணியம் - Factor.

துண்டு - Bob.
துதிரைகள் - Bridges.
துதிரை விசை - Horse power.
துருட்டு வாய் - Blind spot.
துவிகற்றை - Convergent pencil.
துவிப்பு - Dioptre.
துவிய நீளம் - Focal length.
துவியப்படுத்தல் - Focussing.
துவியாடி - Convex mirror.
துவிவில்லை - Convex lens.
துழங்கை - Crank.
துழலுருளை - Socket.
துழாய்க் கவடு - '**U**' tube.
துழியாடி - Concave mirror.
துழிவில்லை - Concave lens.
துழிவிளிம்பு வில்லை - Concave meniscus.
துளிர்வரை - Cooling curve.
துறியியல் - Algebraical.
துறுக்கலைகள் - Transverse waves.
துறுக்து அழுத்தம் - Normal Thrust.
துறுங்துழாய் - Pipette.
துறைத்துருவக் கதிர்கள் - Cathode rays.

கூ

கூட்டுக் காந்தங்கள் - Compound magnets.
கூட்டுப்புலம் - Resultant field.
கூட்டெண் - Valency.
கூநருளை - Cone.
கூலம் - Coulomb.

கெ

கெய்ஸ்லர் துழாய் - Geislar tube.

கே

கேவலக்கோட்டப் பான்மை - Absolute refractive index.
கேள்வி நரம்புகள் - Auditory nerves.
கேள்வி வரம்புகள் - Limits of audition.

கொ

கொதிநிலை - Boiling point.
கொதிநிலைமானி - Hypsometer.
கொள்திறன் - Capacity (Electrical).

கோ

கோட்டக்கோணம் - Refracting angle.
கோட்டப்பான்மை - Refractive index.
கோட்டம் - Refraction.
கோட்ட விளிம்பு - Refracting edge.
கோட்டு விரியல் - Line spectra.
கோணமானி - Protractor.
கோமேதகம் - Sapphire.
கோள ஆடி - Spherical mirror.
கோளமானி - Spherometer.
கோளவியல் பிறழ்ச்சி - Spherical aberration.

ச

சகடும் இருசும் - Wheel and axle.
சகடை - Pulley.
சக்தி - Force.
சக்தி இணைகரம் - Parallelogram of forces.
சக்திகளின் திருப்பியல் - Moment of forces.
சக்திப்பலகோண விதி - Polygon of forces.
சக்தி முக்கோணம் - Triangle of forces.
சக்தி வரைகள் - Lines of force.
சதுரங்கத்தாள் - Graph paper.
சதுரம் - Square.

சமசீராய் - Symmetrically.
சம சீர்மை - Symmetry.
சமதள ஆடி - Plane mirror.
சமநிலை - Equilibrant.
சமநிலைகளின் நிலைப்பேறு - Stability of equilibrium.
சமநிலைமை - Equilibrium.
சமநிலை மையம் - Equilibrium position.
சமனிகள் - Isotopes.
சமீகரணம் - Equation.
சம்மட்டி - Hammer.
சரிக்கும் இசிவு - Shearing stress.
சர்வ சமம் - Congruent, equal in all respects.
சல்லடைத் தாரை - Disc siren.

சா

சாமணம் - Forceps.
சாமானிய திரவமானி - Common Hydrometer.
சாம்பர நீருடையி - Potassium hydrate.
சாம்பரம் - Potassium.
சாயை - Umbra.
சாய்வு - Sine.
சாய்வு சாரம் - Inclined plane.
சாராயமட்டம் - Spirit level.
சாராயம் - Spirit.
சாரி - Rider.
சார்லஸின் விதி - Charles' law.
சாவி - Key.
சாளேசரம் - Short sight or myopia.
சான்றுகள் - Evidences.

சி

சிக்கல் சாரி - Friction rider.
சிறந்த உகைவி - Good conductor.
சிறை - Side.
சிறை - Arm.

சீ

சீரான புலம் - Uniform field.
சீரோத்த - Homogeneous.
சீரோவ்வாத - Non-homogeneous.

சு

சுண்ண விளக்கு - Lime light.
சுதைய பாசிதை - Calcium chloride.
சுமை தூக்கி - Crane.
சுமை நீக்குகிறது - Discharges.
சுயம்பிரகாசமான பொருள்கள் - Self-luminous bodies.
சுயம் பிரகாசமில்லாத பொருள்கள் - Non-luminous bodies.
சுருதி - Pitch.
சுருதிமானி - Sonometer.
சுவடு - Path.
சுழலகம் - Fulcrum.
சுழலி - Rotor.
சுழல் கதி - Angular velocity.

சூ

சூசிகை - Pointer.
சூடு - Temperature.
சூட்டிணைப்புக் கருவி - Thermocouple.
சூட்டுச்சரிவு - Temperature gradient.
சூழல் - Surrounding space.
சூழ் வட்டமையம் - Centre of circumcircle.
சூன்யப்பிழை - Zero error.
சூன்யப்புள்ளி - Null point.
சூக்ஷ்ம அணுதரிசனி - Compound microscope.

செ

செ. கி. செ. திட்டம் - C. G. S. System.
செங்கட்டி - Cube.

செங்கோணம் - Right angle.
செப்புக் கந்தகை - Copper sulphate.
செப்புக்கந்தகைக் கரைநீர்-Copper sulphate solution.
செம்மையம் - Centroid.
செறிவு - Density.
செறிவுக்கலம் - Density bottle.
செறிவுக்காந்தவியல் - Paramagnetism.
சென்டிகிரேட் திட்டம் - Centigrade system.

சே

சேமம் - Accumulator.

சொ

சொரூப மாறுபாடு - Change of form.

சோ

சோதனைக்குழாய் மிதவை - Test tube float.
சோதனைத் துடுப்பு - Proof plane.
சோரியம் - Bromine.

சௌ

சௌர நிறமாலை - Solar spectrum.

டெ

டெக்காமீடர் - Deccameter.
டெஸிமீடர் - Decimeter.

டை

டைன் - Dyne.

த

தகவு - Ratio.
தகவுக் கைகள் - Ratio arms.
தகைபொருள் - Opaque body.

தகைப்பு - Rheostat.
தகைவி - Bad conductor.
தகைவுப் பெட்டி - Resistance box.
தகைவுப் பொருள் - Resistance.
தக்கை உருண்டை - Pith ball.
தட்டுச்சாவி - Tap key.
தட்ப யந்திரம் - Ice machine.
தந்தமுளை - Ivory index.
தந்திகளின் குறுக்குத்துடிப்பு - Transverse vibrations of strings.
தம்வயமாக - Freely.
தராசின் தங்குநிலை - Resting point of a balance.
தராசு - Balance.
தலைகீழ்ப்படிவம் - Inverted image.
தலைமாற்றுரை - Converse.
தவிர்ச்சி - Repulsion.
தழல் விளக்கு - Incandescent lamp.
தள-குவிவில்லை - Plano-convex lens.
தள-குழிவில்லை - Plano-concave lens.
தளர்த்திகள் - Rarefactions.
தனியியல் அகற்சிப்பான்மை - Absolute coefficient.
தனியியல் கோட்டப்பான்மை - Absolute Refractive index.
தனியியல் சூடு - Absolute temperature.
தனியியல் சூன்யம் - Absolute zero.
தன்வயமான துடிப்பு - Free vibration.

தா

தாதுக்கள் - Elements.
தாழிறுக்கமானி - Barometer gauge.

தி

திசைகாட்டி - Compass.
திசையற்ற இராசிகள் - Scalars.

திசையுற்ற இராசிகள் - Vectors.
திடப்பொருள் ஆவியாக நேரே மாறல் - Sublimation.
திரவமானி - Hydrometer.
திருகுமானி - Screw gauge.
திருத்தகம் - Modulator.

தீ

தீட்டத்தால் சுமையேற்றுதல் - Electrification by conduction.
தீட்டம் - Conduction.

து

துகள் - Particle.
துடிப்பகம் - Oscillator.
துடிப்புக்கண் - Vibrating source.
துடிப்புக் கண்டம் - Vibrating segment.
துணைக்கடம் - Secondary cell.
துணையளவி - Side scale.
துணைப்புலம் - Back ground.
துணையாய அமைப்பு - Co-ordinate system.
துருவம் - Pole.
துலாக்கோல் - Steel yard.
துலைச்சக்கரம் - Balance wheel.
துலைநேமி - Fly wheel.
துளங்கிசைக் கருவி - Oscillograph.

தூ

தூக்கும் சக்தி - Lifting power.
தூம்பு - Nozzle.
தூரப்பார்வை - Long sight or hypermetropia.
தூரிகை - Brush.
தூர்தல் - Polarisation.
தூவி - Felt.

தெ

தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கம் - Saturated vapour pressure.

தெவிட்டிய கரைநீர் - Saturated solution.

தெவிட்டி யிருத்தல் - Saturated.

தெவிட்டும் எல்லை - Saturation limit.

தெளிபொருள் - Transparent body.

தென் துருவம் - South pole.

தே

தேனிரும்பு - Soft iron.

தேன்மெழுகு - Paraffin wax.

தொ

தொகுத்தல் - Series connection.

தொடர்ந்த விரியல் - Continuous spectrum.

தொடர்ந்திசைக்கும் ஒலிகள் - Continuous sounds.

தொடர்பற்ற நிறமாலை - Absorption spectrum.

தொடர் வகுப்பு - Series connection.

தொடுவரை - Tangent.

தொடுவைத்தளம் - Tangent plane.

தொலைப்பேசி - Telephone.

தோ

தோற்ற அகற்சி - Apparent expansion.

தோற்ற அகற்சிப்பான்மை - Coefficient of apparent expansion.

தோற்றப்படிவம் - Virtual image.

தோற்றப் பருமை - Apparent size.

தோற்றுவாய் - Origin.

ந

நடுவரை - Equator.

நடுவன் - Median.

நவச்சார ஆவி - Ammonia.

நவச்சிய நீரகத்தியதை - Ammonium hydroxide.
நவச்சியப் பாசிதைக் கரை நீர் - Ammonium chloride solution.
நழுவம் - Slide (lantern.)
நழுவும் திருது - Sliding ratchet.

நா

நாலம் - Pendulum.
நாற்கோணம் - Quadrilateral.

நி

நிகல்ஸன் திரவமானி - Nicholson's hydrometer.
நிமிர்வைத் தளம் - Vertical plane.
நிமிளயம் Bismuth.
நியூட்டன் வர்ணத்தட்டு - Newton's colour disc.
நிரப்புக்கோணம் - Supplementary angle.
நிலவியலறிஞர் - Geologist.
நிலகம் - Nickel.
நிலுவை ஆயம் - Vertical ordinate.
நிலுவைப் புலம் - Vertical field.
நிலைத்த வாயு - Permanent gas.
நிலைப்பு - Potential.
நிலைப்பு ஆற்றல் - Potential energy.
நிலைப்புமானி - Potentiometer.
நிலைப்பு வீழ்ச்சி - Fall of Potential.
நிலைப்பேறு - Stability.
நிலைமின்சாரம் - Static electricity.
நிலைமைகளின் தொடர்பு - Continuity of state.
நிலையற்ற சமநிலைமை - Unstable equilibrium.
நிலையான அலைகள் - Stationary waves.
நிலையான சமநிலைமை - Stable equilibrium.
நிலையியல் திரவமானி - Constant immersion hydrometer.
நிழல் - Shadow.

நிழல் போதுட்டு - Shadow cone.
நிறப்பிறழ்ச்சி - Chromatic aberration.
நிறமாலைமானி - Spectrometer.
நிறமாலை அளவியல் - Spectroscopy.
நிறை மையம் - Centre of mass.
நிறையற்ற சகடை - Weightless pulley.
நிறையுரு - Proton.
நிறைவி - Inflator.
நிறை-நிறமாலைக் கருவி - Mass spectrograph.

நீ

நீக்கம் - Displacement.
நீசக்கோட்ட வியல்பு - Least refrangible.
நீச நிலை - Minimum position.
நீச நிலைத்தகைவு மார்க்கம் - Path of least resistance.
நீரப்பாசிகக் காடி - Hydrochloric acid.
நீரியல் தராசு - Hydrostatic balance.
நீரியல் தவிசு - Hydrostatic bench.
நீரியல் துருத்தி - Hydrostatic bellows.
நீர் இறுக்கமான - Water-tight.
நீர் ஒப்புமை - Water equivalent.
நீர் நிலையியல் - Hydrostatics.
நீர் முழுக்கி - Sinker.

நு

நுணுக்கம் - Least count.
நுழைவாய் - Inlet.

நெ

நெகிழக்கூடிய உகைவிகள் - Flexible leads.
நெட்டலைகள் - Longitudinal waves.
நெம்புகோலின் கை, சிறை அல்லது புஜம் - Arm of the lever.

நெம்புகோல் - Lever.
நெருக்கங்கள் - Condensations.
நெறி மாற்றி - Alternator.

நே

நேத்திரநாடிகள் - Optic nerves.
நேரகக்கட்டி - Rectangular glass slab.
நேரகம் - Rectangle.
நேர்கோட்டுச் செலவு - Rectilinear propagation.
நேர் விகிதமாக - Directly proportional.
நேர் வெர்னியர் - Direct vernier.

நொ

நொடி அருவிகள் - Instantaneous currents.
நொடி கதி - Instantaneous velocity.
நொடிகள் - Instants.

ப

பக்கச்சாய்வில்லா வரைகள் - Agonic lines.
பக்கச் சாய்வு - Declination.
பஞ்சுக் கற்கள் - Pumice stones.
படலம் - Layer.
படிக்காரக் கரைநீர் - Alum solution.
படுகைச் சுக்கான் - Horizontal rudder
படுகைப் புலம் - Horizontal field.
பண்பு - Quality.
பயனிலை - Resultant.
பரப்பு - Area.
பரப்புப் பிதுவு - Surface tension.
பரிச சக்தி - Tangential force.
பரிசத் திருகு - Tangent screw.
பரிசப் பரப்பு - Tangential surface.
பரிதி - Circumference.
பரிதியம் - Helium.

புடைபெயர்ச்சிப் பிழை - Parallax error.
புடைபெயர்ச்சி முறை - Parallax method.
புடை மாற்றம் - Lateral inversion.
புளூஸ் இறைவி - Fleuss pump.
புற ஆக்கம் - External agency.
புறஊதாக் கதிர்கள் - Ultraviolet rays.
புற-நோக்குநிலை - Broad-side-on position.
புற வாயில் - Exhaust pipe.
புறவாயில் கதவு - Outlet valve.
புனலியக்கவியல் - Hydro-dynamics.
புனல்-நிலையியல் - Hydrostatics.
புன்ஸனின் பனி உஷ்ணநிறைமானி - Bunsen's ice calorimeter.

பூ

பூகோளத் துருவகம் - Geographical meridian.
பூமிக்கவர்ச்சியின் முடுக்கம் - Acceleration due to gravity.
பூமியின் காந்தவியல் - Terrestrial magnetism.
பூரகம் - Burette.
பூரகி - Aspirator.
பூரண அந்தரப் பிரதிபலனம் - Total internal reflection.
பூரி - Expand.

பெ

பெயர்ச்சி இணைகரம் - Parallelogram of displacements.
பெருக்கத் துணியம் - Reduction factor.
பெருக்கம் - Magnification.
பெருவட்டம் - Great circle.

பே

பேய்த்தேர் - Mirage.

பை

பைக்னமீடர் - Pyknometer.
பைண்ட் - Pint.

பொ

பொதுமைச் சௌர செகண்டு - Mean solar second.
பொதுமைச் சௌர நாள் - Mean solar day.
பொய்ப் படிவம் - Virtual image.
பொய்யாழம் - Apparent depth.
பொருள் - Body.
பொருள் பதரி - Object glass.
பொழுதியல் சக்தி - Periodic force.
பொன்னிலை மின்காட்டி - Gold leaf electroscope.

போ

போர்டா - Borda.

ம

மங்கன இருதீயதை - Manganese dioxide.
மங்கிய பொருள் - Translucent body.
மட்டமுக்கோணம் - Right-angled triangle.
மண்டலம் - Circuit.
மணிச்சாடி - Bell jar.
மயக்கமருந்து - Chloroform.
மறிப்பகம் - Alternator.
மறிப்பு அருவி - Alternating current.
மறிப்புக்கோணம் - Alternate angle.

மா

மாக்டிபர்க் கிண்ணங்கள் - Magdeburg hemispheres.
மாறு இறுக்கப்பருமை அகந்சிப்பான்மை - Coefficient of volume Expansion under constant pressure.

மாறப்பருமை இறுக்க மிகுதிப்பான்மை - Coefficient of increase of pressure under constant volume.
மாறியல் - Variable.
மாறியல் அகலம் - Variable width.
மாறியல் செறிவு - Variable density.
மாறியல் திரவமானி - Variable immersion hydrometer.
மாறிலி - Constant.
மாறிலிக் குணியம் - Constant factor.
மாறுபடம் - Photographic negative.
மாறுமின்னருவி - Alternating Current.
மாற்றகம் - Commutator.

மி

மிகைக்கதிர் பாகுபாடு - Positive ray analysis.
மிகைத்தகடு - Positive plate.
மிகைத் துருவக் கதிர்கள் - Positive rays.
மிகையுரு - Positron.
மிசிர விதி - Law of mixtures.
மிதப்பு - Buoyancy.
மிதப்பு மையம் - Centre of buoyancy.
மின் கல அடுக்கு - Battery.
மின்காந்தம் - Electromagnet.
மின்சார அச்செடுத்தல் - Electrotyping.
மின்சாரப் பூச்சிடுதல் - Electroplating.
மின்சுமை இயந்திரம் - Electrical machine.
மின் தகைவு - Electrical resistance.
மின்துருவம் - Electrode.
மின்புலத்தின் உறைப்பு - Intensity of electric field.
மின்மட்டமானி - Voltmeter.
மின்னடுப்பு - Electric oven.
மின்னருவி - Electric current.
மின்னியக்க சக்தி - Electromotive force.

மின்னியல் இரசாயன ஒப்புமை - Electro-chemical equivalent.
மின்னிலையியல் - Electro-statics.
மின்னிலையியல் அலகு - Electrostatic unit.
மின்னுருக்களின் மண்டலம் - Orbit of electrons.
மின்னுருக்கள் - Electrons.
மின்னுருத்தாழ் - Thermionic valve.
மின்னுருத் தாழ் பெருக்கி - Valve amplifier.
மின்னுழைவுப்பான்மை - Dielectric constant.
மின்னூட்டம் - Eleitrolysis.
மின்னூட்டி - Electrolyte.
மின்னூற்று - Electrophorous.
மின்னோட்டங்காட்டி - Galvanoscope.
மின்னோட்டமானி - Galvanometer.

மீ

மீட்சிக்கோணம் - Angle of reflection.

மு

முகடு - Crest.
முகம் (அசையும்) - Phase.
முக்கோணம் - Triangle.
முக்கோணவியல் - Trigonometry.
முடிகள் - Nodes.
முடியாத மண்டலம் - Open Circuit.
முடுக்கம் - Acceleration.
முடுக்கு விசிறி - Propeller.
முதல் அலகுகள் - Fundamental units.
முப்பட்டை - Prism.
மும்மை - Third power.
முழக்கம் - Intensity.
முளைச் சாவி - Plug key.

முறைமாறலாய் - Reciprocal.
முனை எதிர் கோணம் - Vertically opposite angle.
முனை நோக்கு நிலை - End-on-position.
முன்னேறும் அலைகள் - Progressive waves.

மூ

மூல இராசிகள் - Fundamental quantities.
மூலகம் - Molecule.
மூலைவரை - Diagonal.
மூலைவரை அளவி - Diagonal scale.

மெ

மெக்லியாட் இறுக்கமானி - Macleod gauge.
மெட்ரிக் திட்டம் - Metric system.
மெய்ப் படிவம் - Real Image.
மெழுகு இழுது - Vaseline.

மே

மேலெண் - Numerator.
மேல் முனை - Vertex.
மேற்புறம் குழிவான - Concave upwards.

மை

மைக் - Microphone.
மைய விலக்க சக்தி - Centripetal force.
மையூறிஞ்சும் பேனா - Self-filling pen.

மோ

மோதுகோணம் - Angle of incidence.
மோதுவாய் - Point of incidence.

ய

யந்திரவியல் - Mechanics.

யா

யானம் - Medium.

ர

ரசப்பூரம் - Amalgam.
ரவை உள்ளாழி - Ball-bearing.

ரூ

நுமர் திட்டம் - Reaumer system.

ல

லக்ளாஞ்ச் கடம் - Leclanche cell.
லட்சியம் - Ideal.
லம்ப ஈராரி - Perpendicular Bisector.
லம்பம் - Normal.
லாமியின் ஊகை - Lami's Theorem.

லெ

லெய்டன் வாளி - Leyden jar.

வ

வகைப்பாடு - Calibration.
வடதுருவம் - North pole.
வடதுருவ வெள்ளொளி - Aurora Borealis.
வடிவியல் கணக்கீடு - Mensuration.
வடிவியல் சமசீர்மை - Geometrical symmetry.
வடிவியல்முறை - Geometrical construction.

வட்டத்துண்டு - Arc.
வட்டாவிய நாற்கோணம் - Cyclic quadrilateral.
வத்தித்திறன் - Candle power.
வரம்பிகந்த தூரம் - Infinite distance.
வரிநிறமாலை - Line spectrum.
வருக்க மறிப்பு விதி - Inverse square law
வருக்கமூலம் - Square root.
வரையி - Graphite.
வரைவிலக்கணம் - Definition.
வர்ணமண்டிலம் - Chromosphere.
வலம்புரி - Clockwise.
வலிமை - Intensity.
வழியலகுகள் - Derived units.
வழியும் கலம் - Overflow vessel.
வழுக்கும் கதவு - Slide valve.
வளாவிய - Dilute.
வளைவு ஆரம் - Radius of curvature.
வளைவு மையம் - Centre of curvature.

வா

வாட்டு - Watt.
வாத்தியக்குழல் - Organ pipe.
வாயுச் சமீகரணம் - Gas equation.
வாயுக்கதவு - Gas valve.
வானக அடுக்கம் - Radio frequency.
வானக அலைகள் - Radio waves.
வானக தொலைப்பேசி - Wireless telephone.
வானவியல் - Astronomy.
வானவியல் கூடம் - Astronomical observatory.
வானவியல் தூரதரிசனி - Astronomical telescope.
வானவியல் நாள் - Astronomical day.
வானவியல் முறைகள் - Astronomical methods.
வானி - Aerial.

வி

விகுதி - Suffix.
விசும்பு - Ether.
விசும்பு அலை - Electromagnetic wave.
விட்டம் - Diameter.
விட்டிசைக்கும் ஒலிகள் - Discontinuous sounds.
விண்ணியல் கதிர்கள் - Cosmic rays.
விண்ணுயர்த்தி - Lift.
விதானம் - Diaphragm.
விம்மல் - Beats.
விரவல் அருவிகள் - Convection currents.
விரவுதல் - Convection.
விரிகற்றை - Divergent pencil.
விரிகோணம் - Obtuse angle.
விலக்கம் - Deviation.
விலதுக்காந்தவியல் - Dia magnetism.
வில்லை - Lens.
வில்லையின் திறமை - Power of a lens.
விழி - Cornea.
விளக்கு நீர் - Developer solution.
விளக்குந்திரை - Fluorescent screen.
விளிம்பெல்லை - Outline.
விறைப்புப் பொருள் - Rigid body.

வீ

வீச்சு - Amplitude.
வீச்சுவில்லை - Projecting lens.
வீச்சுவிளக்கு - Optical lantern.
வீட்ஸ்டன் இணைப்பு - Wheatstone's Bridge.
வீழ்ச்சி - Projection.

வெ

வெண்தழல் நிலை - White heat.

வெப்ப அளவியல் - Calorimetry.
வெப்ப உகைவுப்பான்மை - Coefficient of thermal conductivity.
வெப்ப உரிமை - Specific heat.
வெப்ப உரிமையின் தகவு - Ratio of specific heats.
வெப்பக் கிரணங்கள் - Heat rays.
வெப்பக்கோட்டம் - Refraction of heat rays.
வெப்பத்தகைபொருள் - Adiathermanous substances.
வெப்பத்தெளிபொருள் - Diathermanous substances.
வெப்ப மனை - Hot house.
வெப்பம் - Heat.
வெப்பம் ஏந்தும் திறமை - Thermal capacity.
வெர்னியரின் நுணுக்கம் - Least count of a Vernier.
வெர்னியர் - Vernier.
வெர்னியர் காலிபர் - Vernier Callipers.
வெளிவாய் - Outlet.
வெள்ளிச்சோரிதை - Silver Bromide.
வெள்ளெழுத்து - Long sight or hypermetrophia.

வே

வேகம் - Speed.
வேலைத் தத்துவம் - Principle of work.

வோ

வோல்டாமானி - Voltameter.

ஹெ

ஹெக்டாமீடர் - Hectometer.

ஸ்

ஸ்பேர்மாஸெடி - Spermaceti.

ஜ

ஜடத்வம் - Inertia.
ஜடத்திறன் - Moment of Inertia.

ஜெ

ஜெலாடின் - Gelatine.

X

'X' கதிர்கள் - 'X' Rays.

பௌதிக நூல்

ஒளியியல்

அத்தியாயம் 1

ஒளியின் இயல்புகளும் ஒளிமானியியலும்
(Characteristics of Light and Photometry)

ஒளியின் இயல்புகள், நேர்கோட்டுச் செலவு (Rectilinear propagation), நிழல் (shadow), ஒளிமானியியல் (Photometry).

ஒளியின் தன்மை :—ஒளி என்னும் சொல் இரண்டு பொருள்களிலே கையாளப்படுகிறது. கண்ணிலே உண்டாகும் புலன் உணர்ச்சி ஒன்று. இப்புலனுக்கு விஷயமாகி நின்ற பொருள் மற்றொன்று. நாம் ஒளியென்னும்போது பெரும்பாலும் இரண்டாவது பொருளையே குறிக்கிறோம். ஒரு பொருளிலிருந்து புறப்பட்டுவரும் ஒளி நமது கண்ணிலே படும்போது அப்பொருள் நமது கண்ணுக்குப் புலனாகிறது என்று சொல்லுகிறோம். சில பொருள்கள் தாமே வெளியிடும் ஒளியினால் புலப்படுகின்றன. இவை சுயம் பிரகாசமான பொருள்கள் (self-luminous bodies) எனப்படும். விளக்கு, சூரியன், பழுக்கக் காய்ச்சிய இரும்பு முதலியன இந்த வகையைச் சேர்ந்தவை. பெரும்பாலான மற்றப் பொருள்கள் தாமாக வெளியிடும் ஒளியாலன்றித் தம்மீது விழும் ஒளியைச் சிதறச் செய்து, அவ்வாறு சிதறிய ஒளி நமது கண்ணிலே படுவதால் நமக்குப் புலனாகின்றன. இவை சுயம் பிரகாசமில்லாத பொருள்கள் (non-luminous bodies) எனப்படும். ஒரு அறையில் இரவிலே விளக்கேற்றி வைத்தால் அந்த விளக்கும் இன்னும் அறையின் சுவர்கள், பெட்டிகள், மேஜை, நாற்காலிகள் முதலிய பல பொருள்களும் நமது கண்ணுக்குப் புலனாகிறது. இவற்றிலே சுயம் பிரகாசமான விளக்குத் தானே வெளியிடும் ஒளியினால் கண்ணுக்குப்

புலனாகிறது. மற்றப் பொருள்கள் விளக்கினின்றும் தம்மீது விழும் ஒளியைச் சிதற, அவ்வாறு சிதறிய ஒளியின் ஒரு பகுதி நமது கண்ணிலே படுவதால் நமக்குப் புலனாகின்றன.

வெப்பம் பரவுதலைப்பற்றி விசாரித்தபோது, கதிர்ப்பு அல்லது கிரணித்தல் என்பது வெப்பம் பரவும் மூன்று முறைகளில் ஒன்றாகும் என்று முன்பு கூறினோம். ஒளி இந்த முறையினால் மட்டுமே எங்கும் பரவுகிறது. உண்மையிலே இவ்வாறு பரவும் வெப்பத்திற்கும் ஒளிக்கும் அதிக வேற்றுமையில்லை. சூரியனிடமிருந்து வெப்பம், வெளிச்சம் ஆகிய இரண்டையும் நாம் பெறுகிறோம். இவையிரண்டும் கிரணங்களாக நம்மை வந்தடைகின்றன. இந்தக் கிரணங்களெல்லாம் பிரபஞ்சமெங்கும் பரவி நிற்கும் விசும்பிலேற்படும் (ether) அலைகள் என்று சொல்லுவார்கள். இவ்வலைகள் மின்காந்த இயல்பு வாய்ந்தன வென்றும் காட்டப்பட்டன. வெப்பம், வெளிச்சமாகிய இரண்டுமே விசும்பு-அலைகள் அல்லது மின்காந்த அலைகள். ஆனால் இவ்விரண்டுக்குமுள்ள வேற்றுமை அலை நீளத்திலேற்படும் வேற்றுமையேயாகும். ஒளியலைகள் வெப்ப அலைகளைவிடக் குட்டையானவை. வெப்ப அலைகள் நமது உடம்பிலே எப்பகுதியின் மீது பட்டாலும் நாம் அதை உணரக்கூடும். ஆனால் ஒளி-அலைகளோ நமது கண்ணுக்கு மட்டுமே புலனாகும் தன்மைவாய்ந்தவை. இம்மின்காந்த அலைகள் மாறாத ஒரே கதியோடு செல்கின்றன. இந்த கதி செகண்டிற்கு 3×10^{10} செ. மீட்டர்கள் ஆகும்.

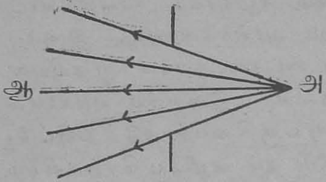
தெளிபொருள்கள், தகை பொருள்கள், மங்கிய பொருள்கள் (transparent, opaque and translucent bodies):—சில பொருள்களின் வழியாக ஒளி ஊடுருவிச் செல்லக்கூடும். இவை தெளி பொருள்கள்

எனப்படும். கண்ணாடி, தண்ணீர், காற்று முதலியன இந்த வகையைச் சேர்ந்தவை. பெரும்பாலான மற்றப் பொருள்கள் ஒளியைத் தம் வழியாகச் செல்லவொட்டாது தடுத்துவிடும் தன்மை வாய்ந்தனவாம். இரும்பு முதலிய உலோகங்கள், கட்டைகள், கற்கள் முதலியன இந்த வகையைச் சேர்ந்தவை. இவையே யல்லாமல் தம்மீது படும் ஒளியின் ஒரு பகுதியைத் தடுத்துவிட்டு, மற்றொரு பகுதியை மட்டும் தம் வழியே செல்லவிடும் பொருள்களுமுண்டு. இவை மங்கிய பொருள்கள் எனப்படும். மூடுபனி, வெள்ளைக் காகிதம், தேய்த்த கண்ணாடி போன்றவை இந்த வகையைச் சேர்ந்தவை. இங்கே கூறப்படும் வேற்றுமையெல்லாம் ஒத்த தொடர் புள்ளவையாகும் (relative). உண்மையிலே தம் மீது விழும் ஒளி முழுவதையும் தம் வழியே புகவிடக்கூடிய பொருள் ஒன்றுமேயில்லை. மெல்லிய கண்ணாடி கூட தன் மீது விழும் ஒளியின் ஒரு பகுதியைச் சிதறச் செய்து, மற்றொரு பகுதியைத் தனக்குள்ளே மறையச் செய்துவிடுகின்றது. இதனால் பூரணமான தெளி பொருள்களே இல்லையென்று கூறலாம். இப்படியே தகை பொருள்கள் எனக் கருதப்பட்ட சில பொருள்கள் மிக மெல்லிய படலங்களாகச் செய்யப்பட்டபோது ஒளியைத் தம்வழியே புகவிடுதலுமுண்டு. எனவே பூரணமான தகை பொருள்களே இல்லையென்றும் கூறலாம்.

ஒளியின் நேர்கோட்டுச் செலவு

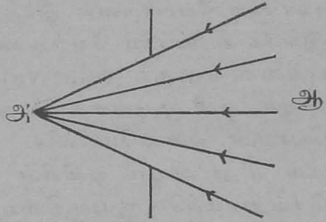
ஒளிக்கிரணங்கள் :—ஒளியின் இயல்புகளிலே முதன்மையானது அதன் நேர்கோட்டுச் செலவு ஆகும். சீரொத்த (homogeneous) யானத்திலே ஒளி செல்லும் பாதைகள் நேர்கோடுகளாகவே இருக்கும். இந் நேர் கோடுகள் ஒவ்வொன்றும் ஒளிக்கிரணம் எனப்படும். பல கிரணங்களின் சேர்க்கையை ஒளிக்கற்றை,

கிரணக்கற்றை அல்லது கதிர்க்கற்றை (pencil of rays) என்று சொல்லுவார்கள். ஒரு புள்ளி வடிவமான ஊற்றுக்கண்ணிலிருந்து (Source) ஒளி வெளிப்பட்டால், இக்கதிர்க்கற்றை விரிகற்றை (divergent pencil) எனப்படும். இதைப் படத்திலே (படம் 221 (1)) பார்க்கவும். அஆ என்பது இக்கற்றையின் இருசு எனப்படும்.

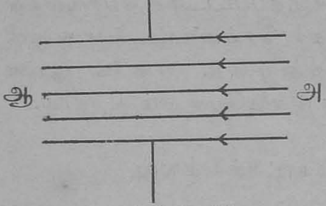


படம் 221 (1)

இவ்வாறல்லாமல் பல ஒளிக் கதிர்கள் ஒரு புள்ளியில் ஒன்றுகூடினால், அவை ஒரு குவிகற்றை (convergent rays) எனப்படும். (படம் 221 (2)).



படம் 221 (2)

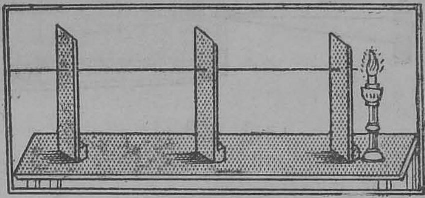


படம் 221 (3)

ஒளிக்கிரணங்கள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக விருந்தால் அது ஒரு இணைக்கற்றை (parallel pencil) எனப்படும். இதையும் படத்தில் (படம் 221 (3)) பார்க்கவும்.

ஒளியின் நேர்கோட்டுச் செலவை விளக்கிக் காட்ட :—ஒளி சீரொத்த யானத்திலே நேர்கோடுகளிலே பரவுகிறது என்பதைப் பலவாறு எடுத்துக் காட்டலாம். ஒரே நேர்கோட்டிலிருக்கும் பொருள்கள் ஒன்றையொன்று நமது கண்ணுக்குப் புலனாகாமல்

மறைத்தலே இதற்கு ஓர் உதாரணமாகும். மூன்று அட்டைகளிலே சிறு துவாரங்கள் செய்து, இவற்றை ஒன்றின்பின் ஒன்றாக நிற்கவைத்து, தூரத்திலே வைக்கப்பட்டுள்ளதொரு வத்தியின் சுவாலையை இத்துவா

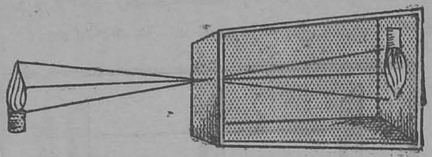


படம் 222

ரங்கள் வழியாகப் பார்க்க முயலுவோம். (படம் 222). இம்மூன்று துவாரங்களும் வத்தியின் சுவாலையும் ஒரே நேர்கோட்டிலிருந்தாலன்றி இது சாத்தியமாகாது.

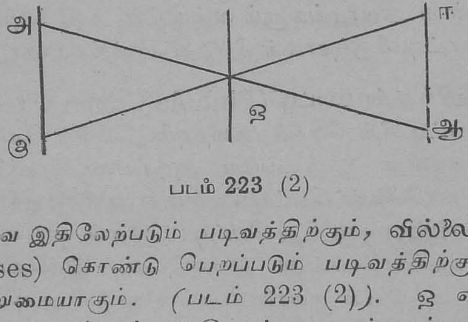
ஊசிக்கண் பெட்டி (Pinhole Camera) :—ஊசிக்கண் பெட்டியின் செயல் முறையும் ஒளியின் நேர்கோட்டுச் செலவின் இயல்பையே அடிப்படையாகக்கொண்டது. ஊசிக்கண் பெட்டியென்பது ஒளி-இறுக்கமான (light-tight) ஒரு சிறு பெட்டி. இதன் ஒரு சுவரிலே சிறு தொளையொன்று இருக்கிறது. இத்தொளைக்கு எதிரே வத்தியின் சுவாலைபோன்ற ஒரு சிறு சுயம் பிரகாசமான பொருளை வைத்தால், அதிலிருந்து வெளிவரும் ஒளிக்கிரணங்கள் துவாரத்தின் வழியே பெட்டியினுள் நுழைந்து, எதிரேயுள்ள மற்றொரு சுவரிலே சுவாலையின் தலைகீழ்ப்படிவமொன்றை (inverted image)தோற்றுவிக்கும். (படம் 223 (1)). இச்சுவருக்குப் பதிலாக ஒருபடம் பதியும் தாளை வைத்தால் இப்படிவத்தை அதிலே பிடித்துவிடலாம். இத்துவாரம் மிகச் சிறியதாயிருக்கவேண்டும். இதனாலேயே இது ஊசிக்கண் எனப்பட்டது. இல்லாவிடின் படிவம் தெளிவாக

இராது. சாமானிய உருவப்படப் பெட்டிகளைவிட இதில் ஒரு சாதகம் இருக்கிறது. அதாவது இதிலே



படம் 223 (1)

குவியப்படுத்த (focussing) வேண்டிய தொல்லை இல்லை. துவாரத்திலிருந்து பொருளாகட்டும் திரையாகட்டும் எவ்வளவு தூரத்திலிருந்தாலும் படிவம் கிடைக்கும்.



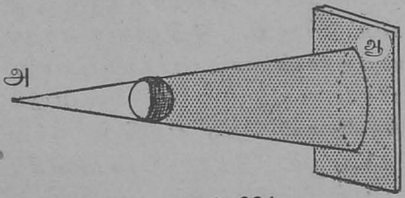
படம் 223 (2)

இதுவே இதிலேற்படும் படிவத்திற்கும், வில்லைகளைக் (Lenses) கொண்டு பெறப்படும் படிவத்திற்குமுள்ள வேற்றுமையாகும். (படம் 223 (2)). ஒ என்பது ஊசிக்கண் என்றும், அ இ என்பது முன்னுள்ள பொருளென்றும் கொள்வோம். பொருளிலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியிலிருந்தும் பலவேறு திசைகளிலும் கிரணங்கள் விரிந்து செல்லும். அத்தகைய அ என்னும் ஒரு புள்ளியிலிருந்து வெளிப்படும் பலவேறு கதிர்களில், அ ஒ என்னும் கிரணம் ஒன்றுமட்டுமே ஊசிக்கண்ணிலே நுழைந்து, திரையின் மீது ஆ என்னும் படிவத்தை யுண்டாக்கக்கூடும். இவ்வாறே இ யிலிருந்து வெளிப்படும் கிரணங்களிலே இ ஒ என்பது ஒன்றே ஈ என்னும்

படிவத்தை யுண்டாக்கவல்லது. இதே நியாயம் பொருளின் மீதுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளிக்கும் பொருந்தும். எனவே, பொருளைப் போன்றதொரு பூரணப்படிவம் திரையின் மீதுண்டாகிறது.

மேலும் துளை சிறியதாயிருக்கும்வரை அது வட்டம், முக்கோணம், சதுரம் என்னும் வடிவங்களிலே எந்த வடிவம் கொண்டிருந்தாலும், இதனால் படிவத்தின் உருவம் மாறுபடுவதில்லை என்றும் தெரிகிறது. துளை பெரியதாயிருப்பின் பல படிவங்கள் ஒன்றன்மீது மற்றொன்றாகப் படிந்து படிவத்தின் வடிவம் குளறிவிடுகிறது (blurred). துளை மிகப் பெரியதாய்விடின் படிவம் உண்டாவதில்லை. ஒரே சீரான வெளிச்சம் மட்டும் திரையின்மீது விழுகிறது.

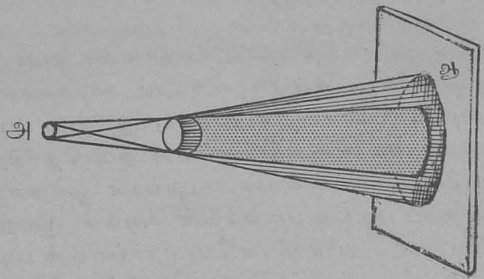
சாயை அல்லது நிழல் :—ஒளி நேர்கோடுகளிலே பரவுவதால் ஏற்படும் மற்றொரு விளைவு நிழல் உண்டாவது ஆகும். (படம் 224). ஓர் தகை பொருளை (உதாரணமாக ஒரு சிறு கோளத்தை) எடுத்துக் கொள்வோம்.



படம் 224

அதை அ என்னும் சுயம் பிரகாசமான புள்ளியிலிருந்து வெளிவரும் ஒளிக்கிரணங்கள் செல்லும் வழியிலே வைத்தால், அக்கோளத்தின்மீது விழும் கூருருளை வடிவான ஒளிக்கற்றை அதனால் தடுக்கப்படுகிறது. இக்கோளத்திற்கு மேலேயுள்ள இக்கூருருளையின் தொடர்ச்சிக்கு உட்பட்ட இடத்திலெங்கும் ஒளி உள்நுழைவதில்லை. இந்த இடம் நிழல் கூருருளை (Shadow cone) எனப்படும். இதற்குக் குறுக்கே ஆ என்னுமிடத்தில்

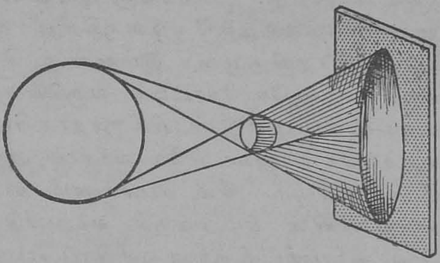
வைக்கப்பட்ட திரையின் மீது கோளத்தின் நிழல் வட்ட மாக விழும். ஒளியின் ஊற்றுக்கண் ஒரு புள்ளியாயி ராமல் ஒரு சிறு கோளவடிவமாய் இருப்பதாகக் கொள்



படம் 225

வோம். (படம் 225). இப்போது நிழல் இரண்டு பிரிவுகளாகிறது. முதலில் சாயை (umbra) எனப் படும் ஒரு பகுதியிலே ஒளியே உள் நுழைவதில்லை. இது கருநிறமாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதிலுள்ள எந்தப் புள்ளியிலிருந்தும் ஊற்றுக்கண்ணைப் பார்க்கமுடியாது. இரண்டாவதாக உபச்சாயை (Penumbra) எனப்படும் பகுதியிலே, ஊற்றுக்கண்ணின் ஒரு பகுதியிலிருந்து வரும் ஒளிமட்டுமே உட்புகும். இந்த உபச்சாயையில் உள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியிலிருந்தும் ஊற்றுக்கண் ணின் ஒரு பகுதியைமட்டுமே பார்க்கலாம். மற்றப் பகுதி கோளத்தினுல் மறைக்கப்பட்டிருக்கும். ஆ என்னும் திரையின் மீது இந்நிழலை ஏற்றுப் பார்த்தால் நடுவில் கருப்பான ஒரு முற்றிலும் இருண்ட அண்டமும், இதைச் சுற்றிச் சற்று மங்கிய இருள்கொண்டதொரு வளையமும் தென்படும். நடுவிலுள்ள வட்டம் சாயையினு லும், சூழ்ந்திருக்கும் வளையம், உபச்சாயையினுலும் ஏற் பட்டதாகும். உபச்சாயையின் வெளிச்சம் படத்தில் கண்டது போன்று ஒரே சீராயிருப்பதில்லை. நடுவி

லிருந்து வெளிச் செல்லச் செல்ல ஒளி அதிகரிக்கும். அதிகரிக்கவே இருள் குறைந்துவரும். சாயை, உபச் சாயைகளின் எல்லைகள் வடிவியலின்படி தெளிவாக வரையறுக்கப்பட்டிருப்பினும், ஒளியியலின்படி அவை அவ்வளவு தெளிவாக வரையறுக்கப்படுவதில்லை. ஊற்றுக்கண் தகை பொருளைவிடப் பெரியதாய் இருந்தால்



படம் 226

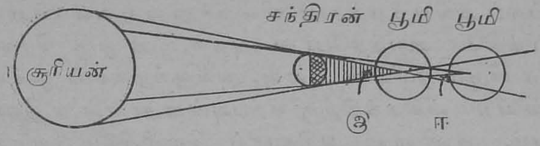
சாயை உபச்சாயைகள் (படம் 226)ல் கண்டவாறு ஏற் படும். இதிலே சாயை உபச்சாயையைவிட மிகச் சிறி யது. சாயை தகைபொருளின் விளிம்பைத் தனது பீட மாகக் கொண்டதொரு கூருருளையின் வடிவைக் கொள் ளும். இதனல், இக்கூருருளையின் முனையைத் தாண்டி நாம் திரையை வைத்தால், அதன்மீது விழும் நிழலிலே சாயை இல்லையாகும். உபச்சாயை மட்டுமே வட்டமாகப் பரவியிருக்கும். எனவே, சாயை, உபச்சாயைகளின் அளவு, ஊற்றுக்கண் தகை பொருளாகியவற்றின் ஒத்த தொடர்புள்ள அளவுகளையும் (relative dimensions), ஊற்றுக்கண் தகைபொருள் திரை ஆகியவற்றிற்கிடைப் பட்ட ஒத்த தொடர்புள்ள தூரங்களையும் (relative distances) சார்ந்தனவென்று அறியலாகும்.

கிரகணங்கள் (eclipses) :—கிரகணங்களெல்லாம் நாம் மேலே கூறிய நிழல்களாலேயே உண்டாகின்றன.

இங்கே இந்நிழல்கள் வானவியல் அளவிலே ஏற்படுகின்றன. இவற்றிலே சூரியன் எப்போதும் ஊற்றுக்கண்ணாக நிற்கிறது. சந்திர கிரகணத்திலே பூமி தகைபொருளும் சந்திரன் திரையுமாகின்றன. சூரிய கிரகணத்திலோ சந்திரன் தகைபொருளாக, பூமி திரையாகிறது. பூமி சூரியனைச் சுற்றித் தனது மண்டலத்திலே சுழன்றோடி வருகிறது. சந்திரனோ பூமியைச் சுற்றித் தனது மண்டலத்தில் சுழன்றோடிவருகிறது. இவ்வாறு வரும்போது மாதமிருமுறை இம்மூன்று பொருள்களும் ஏறக்குறைய நேர்கோட்டில் வருகின்றன. இவ்வாறு வரும்போது பூமி இடையிலிருந்தால் பௌர்ணமி என்றும், சந்திரன் இடையிலே வந்தால் அமாவாசை என்றும் கூறுகிறோம். சில பௌர்ணமி நாட்களிலே சந்திரன் பூமியின் நிழலுக்குள் வந்துவிடுவதுண்டு. அப்போது சூரியனிடமிருந்து ஒளிவரப் பெறாமையால் சந்திரன் தனது ஒளியை இழந்துவிடுகிறது. இதையே நாம் சந்திரகிரகணம் என்கிறோம். பூமியின் சாயையில் சந்திரன் முற்றிலும் முழுகிவிட்டால் அது பூரண சந்திரகிரகணம் ஆகும். சந்திரனது ஒரு பகுதி மட்டுமே பூமியின் சாயையில் முழுகினால், அதைப் பார்சுவ சந்திரகிரகணம் (partial lunar eclipse) என்கிறோம்.

சில அமாவாசை நாட்களில் சந்திரனது நிழல் பூமியின்மீது சில இடங்களில் விழுவதுண்டு. அப்போது அந்த இடங்களிலே உள்ளவர்களுக்கு சூரியன் கண்ணுக்குப் புலப்படாது. இதையே நாம் பூரண சூரியகிரகணம் என்று சொல்லுகிறோம். சந்திரனது உபச்சாயை பூமியின்மீது விழும் இடங்களிலே சூரியனது ஒரு பகுதிமட்டுமே கண்ணுக்குப் புலப்படும். இதை நாம் பார்சுவ சூரிய கிரகணம் என்கிறோம். மேலும் சந்திரன் பூமியைச் சுற்றிவரும் மண்டலத்தின் வடிவம்

வட்டமாயிராமல் ஆயதமாய் (Elliptical) இருப்பதால் பூமிக்கும் சந்திரனுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் ஒரு சீராய் இருப்பதில்லை. இதைப் படத்தில் பார்க்கவும். (படம் 227). இவ்விடைத் தூரம் உச்சமாய் இருக்கும்



படம் 227

போது சூரிய கிரகணம் ஏற்பட்டால் சந்திரனது நிழல்-கூருருளையின் முனை பூமியின்மீது படுவதில்லை. ஆனால் இந்நிழல்-கூருருளையின் எதிர்நீட்சிக் கூருருளைக்குள் பூமியில் ஒரு பகுதி வரக்கூடும். அவ்வாறு வரும் இடங்களிலெல்லாம் சூரியனது நடுப்பாகம் மட்டும் முற்றிலும் மறைக்கப்பட்டிருக்க, அதைச் சூழ்ந்துள்ள ஒளி வளையம் மட்டும் கண்ணுக்குப் புலப்படும். இதையே நாம் கங்கண கிரகணம் (annular solar eclipse) என்கிறோம். (படத்தில் ஈ என்ற விடத்தில் இவ்வாறு நிகழ்கிறது).

நிற்க, ஒவ்வொரு அமாவாசையின்போது சூரிய கிரகணமும், ஒவ்வொரு பௌர்ணமியின்போது சந்திர கிரகணமும் ஏன் உண்டாவதில்லை என்ற ஐயம் நமக்கு எழலாம். இதற்குக் காரணம் சந்திர மண்டலத்தினது தளமும் பூமி மண்டலத்தினது தளமும் ஒன்றாயிராமல் ஒன்றுக்கொன்று சிறிது சாய்ந்திருப்பதால், அமாவாசை பௌர்ணமி காலங்களிலே சூரியன், சந்திரன், பூமி ஆகிய இம்மூன்றும் ஒரே நேர்கோட்டில் வராமல் சிறிது விலகிவிடுகின்றன. இதனாலே ஒவ்வொரு அமாவாசை பௌர்ணமி யன்றும் கிரகணங்கள் நிகழாது போய்விடுகின்றன.

ஊற்றுக்கண்ணின் ஒளிதருதிறமை (Illuminating power of a source):—ஒரே காலத்தில் பல ஊற்றுக்கண்கள் ஒளியை வெளியிடும் விகிதம் பலவாகும். ஒரு ஊற்றுக்கண் பல வேறு திசைகளிலும் ஒரே சீராய் ஒளியை விட்டுக்கொண்டிருந்தால், ஒரு வரையறுத்த பரப்பை அவ்வூற்றுக் கண்ணிலிருந்து ஒரு வரையறுத்த தூரத்திலே வைத்தபோது அதன் மீது ஒரு செகண்டிலே விழும் ஒளியின் அளவு, அவ்வூற்றுக்கண் ஒளியை வெளியிடும் விகிதத்திற்கு ஏற்பவுள்ளது என்று கொள்ளலாம். ஒளியை அதிகமாய் வெளியிடும் ஊற்றுக் கண்ணே அதிக பிரகாசமாய் இருக்குமென்பதும், அதன் வழியிலே வைக்கப்பட்ட பொருளே அதிக ஒளியை ஏற்றுக்கொள்ளுமென்பதும் தெளிவு. எனவே, ஒரு பொருளின் ஒளிதருதிறமை என்பது அப்பொருளிலிருந்து ஒரு செகண்டிலே வெளிப்படும் ஒளியாற்றல் (light energy) என்று நாம் கூறலாம். நாம் ஒரு ஊற்றுக்கண் ஒரு செகண்டிலே வெளியிடும் ஒளியை கேவல முறையில் அளவிடுதல் முடியாதாயினும், அதை ஒரு கட்டளை ஊற்றுக்கண்ணோடு ஒப்பிட்டறிதல் முடியும். எனவே, நாம் ஒரு கட்டளை ஊற்றுக் கண்ணை வைத்துக்கொண்டு, அதற்கு ஒரு வரையறுத்த தூரத்திலே, ஒரு வரையறுத்த பரப்புள்ள திரையை வைத்து, அத்திரையின் மீது ஒரு செகண்டிலே விழும் ஒளியை ஒளி அலகு என்று கொள்ளலாம். அல்லது, இந்த ஊற்றுக்கண் ஒரு அலகு ஒளிதருதிறமை உடையது என்று கூறலாம். இந்த ஊற்றுக்கண்ணை நீக்கிவிட்டு, அதே இடத்தில் நாம் அளக்கவேண்டியதொரு ஊற்றுக்கண்ணை வைக்க, அது திரையின் மீது முன்னைய ஒளியைப்போல n மடங்கு கொண்ட ஒளியைக் கொடுத்தால், இந்த ஊற்றுக்கண் n அலகுகள் ஒளிதருதிறமை கொண்டது என்று கூறலாம். எனவே, ஒரு

ஊற்றுக்கண்ணின் ஒளிதருதிறமைக்கு இலக்கணம் கூறும் முறை வருமாறு :—

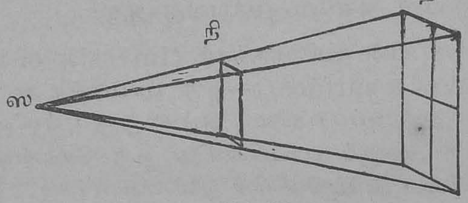
" ஒரு ஊற்றுக்கண்ணினது ஒளிதருதிறமை என்பது, அந்த ஊற்றுக்கண்ணிலிருந்து அலகுத் தூரத்திலே வைக்கப்பட்டதும், அலகுப் பரப்பு கொண்டதும், ஊற்றுக் கண்ணிலிருந்து வந்து தன்மீது விழும் கிரணங்களுக்கு எங்கும் குறுக்காக இருப்பதுமான ஒரு பரப்பின்மீது, ஒரு செகண்டிலே விழும் ஒளியின் அளவு ஆகும். "

ஒளி அலகின் இலக்கணம் வருமாறு :—ஒரு கட்டளை ஊற்றுக்கண்ணிலிருந்து அலகு தூரத்திலே வைக்கப்பட்டதும், அலகுப்பரப்பு கொண்டதும், அந்த ஊற்றுக் கண்ணிலிருந்து வந்து தன்மீது விழும் கிரணங்களுக்கு எங்கும் குறுக்காக இருப்பதுமான, ஒரு பரப்பின்மீது விழும் ஒளியின் அளவே, ஒளியலகு ஆகும்.

ஒரு பரப்பின் ஒளிநெருக்கம் (Intensity of illumination of a surface) :—*ஒரு பரப்பின்மீது ஒளி விழும்போது, அப்பரப்பின்மீதுள்ள ஒரு புள்ளியைச் சுற்றி ஒரு அலகுப் பரப்பின்மீது ஒரு செகண்டிலே விழும் ஒளியை அப்புள்ளியின் ஒளி என்பார்கள். இது பரப்பு முழுவதும் ஒரே சீராயிருந்தால், அப்பரப்பின் மீது விழும் முழு ஒளியை அப்பரப்பின் பரப்பினுலே வகுக்க, அதிலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியின் ஒளியும் கிடைக்கும்.*

வருக்கமறிப்பு விதி :—*ஒரு புள்ளியின் ஒளி அப்புள்ளிக்கும் ஊற்றுக்கண்ணிற்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை எவ்வாறு சார்ந்திருக்கிறது என்பதை இனி விசாரிப்போம். இதற்குரிய விதி வருமாறு* :—ஒரு சிறு ஊற்றுக்கண்ணினுல் ஒரு புள்ளியிலேற்படும் ஒளி அப் புள்ளிக்கும் ஊற்றுக்கண்ணுக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்

தின் வருக்கத்திற்கு எதிர்விகிதமானது. இதுவும் ஒளி நேர்கோட்டிலே பரவுதலின் விளைவேயாகும். (படம் 228 (1)). ஸ என்பது ஒரு சிறு ஊற்றுக்கண் என்றும், நி என்னும் திரை ஊற்றுக்கண்ணிலிருந்து (d) என்னும் தூரத்திலே வைக்கப்பட்டிருக்கிறது என்றும் கொள்வோம். இப்போது திரையைத் தனது முன்னிலைக்கு இணையாக இருக்கும்படி த என்ற நிலைக்கு நகர்த்தி இருப்பதாகவும், இப்போது ஊற்றுக்கண்ணுக்கும் திரைக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் ($2d$) என்றும் கொள்வோம். முன்பு இத்திரையில் ஒரு குறிப்பிட்ட பரப்பிலே விழுந்த ஒளியே இப்போது அதைப் போன்று நான்கு மடங்கு கொண்ட பரப்பின்மீது விழுகிறது என்பது தெரிகிறது. எனவே நி என்ற நிலையில் இருந்த திரையின்மீது விழுந்த வெளிச்சத்திலே நான்கி

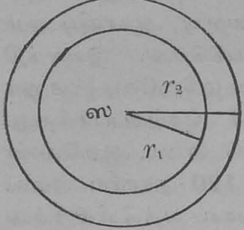


படம் 228 (1)

லொரு பங்குதான் த என்ற நிலையிலே விழக்கூடுமென்று தெரிகிறது. அதாவது தூரம் இரட்டிக்கப்பட்டபோது ஒளி நான்கிலொரு பங்காகிவிட்டது. இவ்வாறே தூரம் மூன்று மடங்காகிவிட்டால் ஒளி ஒன்பதிலொரு பங்காகிவிடும். இது வருக்க மறிப்பு விதி சரியென்பதைக் காட்டுகிறது. இதைப் பின்னுமொரு வழியிலும் நிரூபிக்கலாம்.

ஸ என்ற ஊற்றுக்கண் r_1 என்னும் ஆரம் கொண்டதொரு கோளத்தின் மையத்திலே வைக்கப்பட்டிருப்ப

தாகக் கொள்வோம். (படம் 228 (2)). இவ்வூற்றுக் கண் செகண்டிற்கு Q ஒளி யலகுகளை வெளியிடுவதாக வைத்துக்கொள்வோம். இந்த ஒளி முழுவதும் கோளத்தின் அகப்பரப்பின்மீது ஒரே சீராகப்பரவுகிறது. எனவே, அப்பரப்பின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளியின் ஒளி $I_1 = \frac{Q}{4\pi r_1^2}$



படம் **228** (2)

ஆகும். இப்போது இதே கோளம் ஒரே சீராய் விரிந்து அதன் ஆரம் r_2 ஆவதாகக் கொள்வோம். இப்போது Q அலகுகொண்ட இதே ஒளி இப்பெரிய கோளத்தின் அகப்பரப்பின்மீதும் ஒரே சீராய்ப் பரவுகிறது. எனவே அகப்பரப்பின்மீதுள்ள ஒரு புள்ளியின் ஒளி

$$I = \frac{Q}{4\pi r_2^2} .$$

ஆகையால் ஊற்றுக்கண்ணிலிருந்து முறையே r_1, r_2 என்னும் தூரங்களிலிருந்த புள்ளிகளது ஒளிகளின் தகவு $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$ ஆகிறது. எனவே ஒரு புள்ளியின் ஒளி அப்புள்ளிக்கும் ஊற்றுக்கண்ணிற்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தின் வருக்கத்திற்கு எதிர்விகிதமானது என்பது விளங்குகிறது.

வத்தித்திறன் (candle-power) :—வருக்க மறிப்பு விதி பலவேறு ஊற்றுக் கண்களின் பிரகாசங்களை ஒப்பிடவும், பலவேறு பரப்புகளின் ஒளிகளை ஒப்பிடவும் பயன்படுகிறது. இதற்காகக் கையாளப்படும் கருவிகள் ஒளிமானிகள் (photometers) எனப்படும். ஊற்றுக் கண்களின் ஒளிதருதிறமையை ஒப்பிடுவதற்காக ஒரு கட்டளை ஊற்றுக்கண் அவசியமென்பதை முன்பே எடுத்

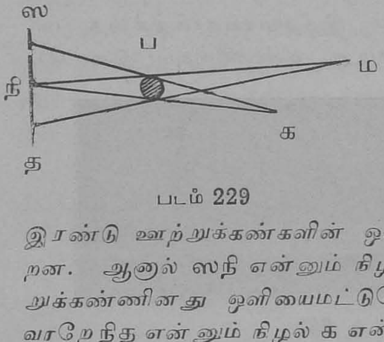
துக் கூறினேம். இவ்வாறு கையாளப்படும் கட்டளை ஊற்றுக்கண் கட்டளை வத்தி எனப்படும். இது அவ்வளவு திருப்திகரமான கட்டளையளவு ஆகாவிடினும் இதுவே பெரும்பாலும் கையாளப்படுகிறது. இவ்வத்தி 'ஸ்பேர்மாஸேடி' எனப்படும் மெழுகினுலே, $\frac{7}{8}''$ குறுக்களவு கொண்ட உருளைகளாகச் செய்யப்படுகிறது. இவை ஆறு சேர்ந்து ஒரு பவுண்டு எடை ஆகவேண்டும். மேலும் இவை மணிக்கு **120** தானிய எடை வீதம் எரியவேண்டும். இத்தகைய வத்தியிலிருந்து ஒரு செகண்டில் வெளிப்படும் ஒளியை ஒரு ஒளியலகு என்று கொள்ளப்படும். இதைவிடத் திருப்திகரமான கட்டளை அளவு ஹார்கோர்ட் (Harcourt) என்பார் இயற்றிய பென்டேன் கட்டளை விளக்கு (pentane standard lamp) ஆகும். இதிலே பென்டேன் வாயுவும் காற்றும் கலந்ததொரு கலவை ஒரு வரையறுக்கப்பட்ட வேகத்திலே எரிக்கப்படுகிறது. இந்த ஊற்றுக்கண்ணின் ஒளிதருதிறமை சுமார் 10 வத்தித்திறன் ஆகும்.

ஒளிமானியின் தத்துவம் :—நமது கண்களால் இரண்டு பரப்புகளின் ஒளிகளை எளிதிலே ஒப்பிடமுடியாதாயினும், அவ்விரண்டு பரப்புகளும் ஒரே அளவு ஒளி கொண்டிருக்கின்றனவா அல்லவா என்பதை மிக எளிதிலே கண்டுபிடித்துவிடலாம். எனவே, இரண்டு ஊற்றுக்கண்களை ஒப்பிட வேண்டுமானுல், அவை ஒரு பரப்பின் பகுதிகளை அடுத்தடுத்து ஒளியிடச் செய்து, அவ்விரண்டுஒளிகளும் சமமாகும்படி ஊற்றுக்கண்களின் தூரங்களைச் சரிப்படுத்தி, வருக்கமறிப்பு விதியினுல் அவற்றின் ஒளிதருதிறமையை ஒப்பிட்டுக் காண்பது வழக்கம். இரண்டு ஊற்றுக்கண்களின் ஒளிதருதிறமைகள் முறையே I_1, I_2 என்றும், அவை சம வெளிச்சமிடப்பட்ட பரப்பிலிருந்து விலகி நிற்கும் தூரங்கள்

முறையே d_1, d_2 என்றும் கொண்டால், $\frac{I_1}{d_1^2} = \frac{I_2}{d_2^2}$ ஆகும். அல்லது $\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$ ஆகும்.

இவ்வாறு இரு பகுதிகளை வெவ்வேறு ஊற்றுக்கண்களால் ஒளியிடச்செய்து, அவற்றின் ஒளி சிறிது வேறுபட்டாலும் எளிதிலே தோற்றும்படி செய்யப்பட்ட சாதனங்கள் பலவுள. அவற்றிலே சிலவற்றை நாம் இங்கே காண்போம்.

'ரம்போர்டின் ஒளிமானி':—(படம் 229.) இதிலே பென்ஸிலைப் போன்றதொரு குச்சி ஒரு திரையின் முன்னாலே செங்குத்தாக நிறுத்திவைக்கப்பட்டிருக்கிறது. படத்தில் இந்த அமைப்பின் கிடைப்படம் (plan) காட்டப்பட்டுள்ளது. ப என்பது அந்தக் குச்சி. ஸத என்பது திரை. ம, க என்பன ஒப்பிடவேண்டிய இரண்டு ஊற்றுக்கண்கள். இவ்வூற்றுக்கண்களைக் குச்சியோடு சேர்க்கும் கோடுகளிரண்டும் திரைக்கு ஒரேயளவு சாய்ந்திருக்கும்படி ஏற்பாடு செய்யவேண்டும். நித என்பது ம என்னும் ஊற்றுக்கண்ணாலேற்பட்ட நிழல். ஸநி என்பது க என்னும் ஊற்றுக்கண்ணாலேற்பட்ட நிழல். திரையிலுள்ள மற்ற இடங்களெல்லாம்

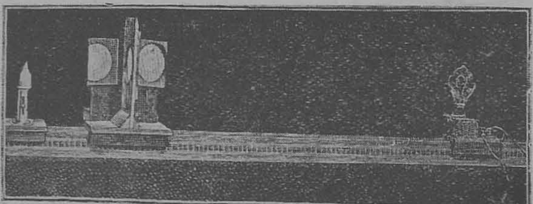


படம் 229

இரண்டு ஊற்றுக்கண்களின் ஒளியினால் விளங்குகின்றன. ஆனால் ஸநி என்னும் நிழலோ ம என்னும் ஊற்றுக்கண்ணினது ஒளியைமட்டுமே பெறுகிறது. அவ்வாறே நித என்னும் நிழல் க என்னும் ஊற்றுக் கண்ணினது ஒளியை மட்டுமே பெறுகிறது. மேலும் இவ்விரண்டு நிழல்களும் நி யிலே ஒன்றையொன்று தீண்

டும்படி ப அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த இரண்டு நிழல்களும் ஒரேயளவு ஒளியுறும்படி ஊற்றுக்கண்களின் நிலைகளைச் சரிப்படுத்தவும். ஸநி-க்கும் ம-வுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் d_1 என்றும், நித-வுக்கும் க-வுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் d_2 என்றும் கொண்டால், $\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$ ஆகும். இவ்வாருக ஊற்றுக்கண்களின் ஒளிகள் ஒப்பிடப்படுகின்றன. நிற்க, வருக்கமறிப்புவிதி சிறிய ஊற்றுக்கண்களுக்கே பொருந்தும். எனவே, ஊற்றுக்கண்ணினது அகலம் அதற்கும் திரைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தோடு ஒப்பிட மிக அற்பமாகும்படி, தூரத்தைக் கூடியவரைப் பெரிதாக்கிக்கொள்ள வேண்டும்.

புன்ஸன் ஒளிமானி:—(படம் 230). இதிலே ஒரு வெள்ளைக் காகிதத்தின் மத்தியிலே ஒரு துளி 'தேன்மெழுகை' யிட்டு, அதனுல் அம்மெழுகு பட்ட இடம் மங்கியதாகச் செய்யப்பட்டுள்ளது. சாமானியமாய் ஒளி காகிதத்தின் வழியாகச் செல்லாது. ஆனுல் இந்த மங்கிய பொட்டு வழியாக ஒளியின் ஒரு பகுதி ஊடுருவிச் செல்லக்கூடும். இத்தகைய காகிதத்தை, ஒளி ஊற்றுக்கண்ணிற்கும் நமது கண்ணிற்கும் இடையே



படம் 230

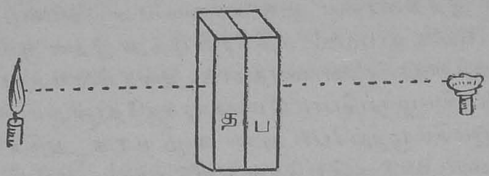
பிடித்தால், அத்திரையின் மற்றப்பகுதிகளின் வழியாக நுழைந்துவரும் ஒளியைவிட அதிகமான ஒளி மெழு

குப் பொட்டின் வழியாக நுழைந்து வரும். இதனால் இப்பொட்டு அதிகப் பிரகாசத்துடன் தெரியும். ஆனால் இத்திரையை ஒரு கருமையான துணைப்புலத்திற்கு (back ground) எதிரே பிடித்து இதன் முன்னால் ஒரு ஊற்றுக்கண்ணை வைத்தால், திரையின் மற்ற பகுதிகளைவிட மெழுகுப்பொட்டு மங்கலாகத்தோன்றும். ஏனெனில் இம்மெழுகுப்பொட்டின் வழியாக அதிக ஒளி திரையை ஊடுருவிச் சென்றுவிடுவதால், அதிலிருந்து சிதறித் திரும்பிவரும் ஒளி குறைவாகவே இருக்கும். ஆனால் இத்திரையின் இருபுறங்களிலும் சமமான ஒளி தருதிறமைஉடைய இரண்டு ஊற்றுக்கண்களை சமதூரங்களிலே வைத்தால், அல்லது திரையின் இருபுறங்களும் ஒரே அளவுக்கு ஒளியிடப்பட்டால், மெழுகுப்பொட்டிலே ஒரு புறம் குறைவாகச் சிதறிய ஒளி மறுபுறமிருந்து அதிகமாக ஊடுருவி வந்த ஒளியினால் ஈடுசெய்யப்பட்டு, மெழுகுப்பொட்டும் அதைச் சூழ்ந்துள்ள காகிதமும் ஒரே பிரகாசத்துடன் தோன்றும். இப்போது மெழுகுப்பொட்டைத் தனியாகக் கண்டுபிடிப்பது முடியாதுபோய்விடும்.

எனவே, ஒப்பிடவேண்டிய இரண்டு ஊற்றுக்கண்களை இத்திரையின் இருபுறங்களிலும் வைத்து, மெழுகுப்பொட்டும் அதைச் சூழ்ந்துள்ள காகிதமும் பகுத்தறிய முடியாதவாறு ஊற்றுக்கண்களின் தூரங்களைச் சரிப்படுத்திவைத்தால், திரையின்மீது இரு ஊற்றுக்கண்கள் இடும் ஒளிகள் சமமாகும். எனவே, இவ் ஆற்றுக்கண்களுக்கும் திரைக்கும் இடைப்பட்ட தூரங்கள் முறையே d_1, d_2 என்றும், அவற்றின் பிரகாசங்கள் முறையே I_1, I_2 என்றும் கொண்டால், $\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$ ஆகும்.

ஜாலியின் ஒளிமானி :—(படம் 231). ஸ, நி என்னும் இரண்டு தேன்மெழுகு (paraffin wax) நேரகக்

கட்டிகள் ஒன்றின் பக்கத்தே ஒன்று அவற்றின் பெரிய



படம் 231

முகங்கள் ஒன்றையொன்று நோக்கி நிற்கும்படி வைக்கப்படும். இவற்றின் இடையே ம என்னும் தகரத்தகடு வைக்கப்படும். இக்கட்டிகள் ஒப்பிடவேண்டிய இரண்டு ஊற்றுக்கண்களின் இடையே வைக்கப்படும். ஒரு கட்டி ஒரு ஊற்றுக்கண்ணினுலும், மற்றொன்று இரண்டாவது ஊற்றுக்கண்ணினுலும் ஒளியிடப்படும். காண்போன் (observer) இவற்றைப் பக்கத்திலிருந்து பார்த்து த, ப என்னும் முகங்கள் ஒரே ஒளியோடு தோன்றும்படி கட்டிகளின் நிலையைச் சரிபடுத்துவான். இவ்வாறு பார்க்கும்போது ஊற்றுக்கண்களிலிருந்து நேரே ஒளிக்கிரணங்கள் காண்போனது கண்ணினுள் நுழையாதபடி தக்க திரைகளை வைத்து மறைத்துக் கொள்ளவேண்டும். ஒளிமானிக்கும் ஊற்றுக்கண்களுக்கும் இடைப்பட்ட d_1, d_2 என்னும் தூரங்களை அளந்து கண்டால் முன்னுல் கூறியபடியே

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$ ஆகும்.

———

வினாக்கள்

1. ஒளிதருதிறமை, ஒளி நெருக்கம் என்னும் பதங்களின் வரைவிலக்கணம் கூறுக.

இரண்டு ஊற்றுக்கண்கள் ஒரே பரப்பிலே சம அளவான ஒளியை உண்டாக்கினால், அவற்றின் ஒளிதரு திறமைகள் முறையே அப்பரப்புக்கும் ஊற்றுக்கண் களுக்கும் இடைநின்ற தூரத்தின் இருமைக்கு ஏற்பவுள் ளன என்று காட்டுக.

ஏதேனுமொரு ஒளிமானி வகையின் அமைப்பை யும் செயல் முறையையும் விவரித்துக் கூறுக.

(மைசூர் 1933)

2. ஒளிதருதிறமை, ஒளி நெருக்கம் என்னும் பதங்களுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு தழல் விளக்கின் ஒளிதருதிறமை அதன் குறுக்கு வாட்டத்திலே இருப்பதைவிட நீள வாட்டத் திலே அதிகமாக இருக்கிறது. இந்த இரண்டு ஒளிதரு திறமைகளின் தகவை எவ்வாறு பரிசோதனையால் காண லாமென்று விளக்குக.

(சென்னை, ஏப்ரல் 1929)

அத்தியாயம் 2

சமதளப் பரப்புகளில் பிரதிபலித்தல்
(Reflection at plane surfaces)

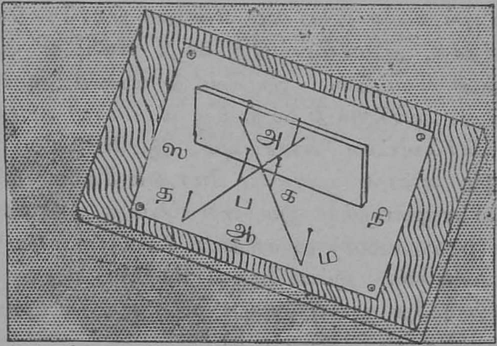
ஒளிக்கற்றைகள் நன்ருக மெருகிடப்பட்ட ஆடிகளின் மீது தாக்கும்போது அவை செவ்வையாகப் பிரதிபலிக்கின்றன. நாம் இப்போது ஒளிக்கிரணங்கள் சமதளப் பரப்புகளிலே பிரதிபலித்தலைப் பற்றிய விதிகளை விசாரிப்போம். ஒரு ஒளிக்கிரணம் ஒரு பரப்பைத் தாக்குமிடம் 'மோதுவாய்'(point of incidence) எனப்படும். இந்த இடத்திலே பரப்புக்குச் செங்குத்தாக வரையப்பட்ட நேர்கோடு லம்பம் (normal) எனப்படும். மோதும் கிரணத்திற்கும் இந்த லம்பத்திற்குமிடைப்பட்ட கோணம் மோது கோணம் (angle of incidence) எனப்படும். பிரதிபலித்து மீண்டுவரும் கிரணத்திற்கும் லம்பத்திற்கு மிடைப்பட்ட கோணம் மீட்சிக் கோணம் (angle of reflection) எனப்படும். ஒளியின் செம்மைப் பிரதிபலிப்பாகிய இந்நிகழ்ச்சி கீழ்க்கண்ட இரண்டு விதிகளால் முற்றும் விளக்கப்படுகிறது.

(1) மோதுங் கிரணம், மோதுவாயில் பரப்பின் லம்பம், மீளும் கிரணம் ஆகிய இம் மூன்றும் ஒரே தளத்திலிருக்கின்றன.

(2) மோதும் கோணமும் மீளும் கோணமும் சமமாகும்.

ஒரு சமதள ஆடியையும் சில குண்டூசிகளையும் கொண்டு மேற்கண்ட விதிகளைச் சரிபார்த்துவிடலாம். அதைச் செய்யும் முறை வருமாறு :—

ஒரு மரப் பலகையின்மீது ஒரு தாளை விரித்து, அதை நான்கு மூலைகளிலும் ஊசிகளால் தைத்துவிடவும். இத்தாளின்மீது ஸநி என்ற நேர் கோட்டை வரையவும். இக்கோட்டின்மீது ஒரு சிறு நேர் வடிவான ஆடியை நிறுத்தவும். ஆடியின் இரசம் பூசிய பரப்பு இக்கோட்டின்மீது பொருந்தி இருக்கவேண்டும். (படம் 232). ஆடி மெல்லியதாகவும் சமதளமுடையதாயும் இருத்தல் வேண்டும். இவ்வாடியின் முன்னால் ப என்ற குண்டூசியையும், அதற்குச் சிறிது தூரத்



படம் 232

திலே த என்ற குண்டூசியையும் செங்குத்தாகக் குத்தி நிறுத்தவும். த, ப க்களின் படிவங்களை ஆடியினுள் கண்டு, அவ்விரண்டு படிவங்களும் ஒன்றையொன்று மறைக்கும்படியாகக் கண்ணை வைத்துக்கொள்ளவும். அவற்றோடு ஒரே நேர்கோட்டில் நிற்கும்படியாக க, ம என்னும் குண்டூசிகளின் தலைகளையும் த, ப க்களின் படிவங்களினது தலைகளையும் இருக்குமாறு செய்து, க, ம என்னும் குண்டூசிகளின் உயரங்களைச் சரிப்படுத்திவிட்டு, குண்டூசிகள் ஒவ்வொன்றின் உயரத்தையும் அளந்து பார்த்தால், அவை சமதளமான பலகையின் மட்டத்தி

லிருந்து ஒரே உயரமுடையனவாய் இருத்தல் விளங்கும். எனவே நான்கு குண்டூசிகளின் தலைகளும் பலகைக்கு இணையான ஒரு தளத்திலே நிற்கின்றன. ஆடியின் பரப்புக்குச் செங்குத்தாய் இருப்பதால் லம்பமும் பலகைக்கு இணையாகவே இருக்கும். த ப என்னும் மோதும் கிரணமும் க ம என்னும் மீளும் கிரணமும், லம்பமும், ஒரே தளத்திலிருக்கின்றன. இதனால் முதல் விதி நிரூபிக்கப்பட்டது.

த, ப, க, ம என்னும் ஊசிகளை நீக்கிவிட்டு அவை நின்ற புள்ளிகளை த ப, கம என்னும் நேர்கோடுகளால் சேர்த்தால், அவையிரண்டும் ஸ நி யின்மீது ஒன்றையொன்று வெட்டும். இவ்வெட்டு வாயை அ என்று குறித்து, அங்கிருந்து ஸ நி-க்கு லம்பமாக அ ஆ என்னும் நேர்கோட்டை வரையவும். இப்போது த அ ஆ, ஆ அ ம என்பன முறையே மோதுங் கோணமும் மீட்சிக்கோணமுமாகும். இவற்றை யொரு கோணமானியால் (protractor) அளந்துபார்க்க அவை சமமென்பது விளங்கும். இப்பரிசோதனையைப் பன்முறை செய்தாலும் இதே முடிபு கிடைக்கும். எனவே இரண்டாவது விதி சரிபார்க்கப்பட்டது.

படிவங்கள் (Images):—ஒரு புள்ளியிலிருந்து விரிந்துசெல்லுமொரு ஒளிக்கற்றை பிரதிபலித்தல், கோட்டம் (refraction) முதலியவற்றால் இரண்டாவதொரு புள்ளியிலே சென்று குவியலாம். அல்லது இரண்டாவதொரு புள்ளியினின்று விரிந்து வெளிப்படுவதாகத் தோன்றலாம். எப்படியானாலும் இந்த இரண்டாவது புள்ளி முதல் புள்ளியின் படிவம் எனப்படும். படிவங்கள் உண்மையாகவும் இருக்கலாம். அல்லது உண்மையாகத் தோற்றலாம். இவை முறையே மெய்ப் படிவங்கள் (real images) எனவும், போய்ப் படிவங்கள் (virtual images) அல்லது தோற்றப்

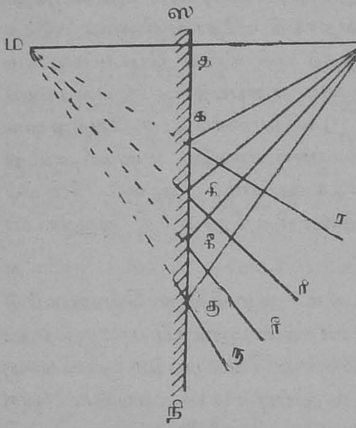
படிவங்கள் எனவும் கூறப்படும். ஒரு புள்ளியிலிருந்து விரிந்து செல்லுமொரு ஒளிக்கற்றை பிரதிபலிப்பு, கோட்டம் முதலியவற்ருல் மற்ருெரு புள்ளியில் சென்று குவிந்தால், இரண்டாவது புள்ளி முதற் புள்ளியினது மெய்ப்படிவம் எனப்படும். நிற்க, ஒரு புள்ளியிலிருந்து விரிந்து செல்லுமொரு ஒளிக்கற்றை பிரதிபலிப்பு, கோட்டம் முதலியவற்ருல் மற்ருெரு புள்ளியிலிருந்து விரிந்து வெளிப்படுவதாகத் தோன்றினுல், இந்த இரண்டாவது புள்ளி முதல் புள்ளியின் பொய்ப்படிவம் அல்லது தோற்றப் படிவம் எனப்படும். இவ்விரண்டு வகைப் படிவங்களுக்கும் முக்கியமானதொரு வேற்றுமை யுண்டு. அதாவது மெய்ப்படிவங்களை திரையின்மீது ஏற்றி அவற்றைப் பார்க்கவியலும். ஆனுல் பொய்ப் படிவங்களை இவ்வாறு திரையின்மீது ஏற்றி அவற்றைப் பார்க்கமுடியாது.

ஒவ்வொரு பொருளும் அதனின்று வெளிப்பட்டு வரும் ஒளிக்கிரணங்களால் கண்ணுக்குப் புலனுகிறது. அதனுல் ஒரு புள்ளியிலிருந்து வெளிப்படும் ஒவ்வொரு கிரணத்தின் திசையிலும் அப்புள்ளி தென்படும். ஒரு கிரணம் தனது வழியிலே திசைமாறி இருப்பின் கடைசியாக அக்கிரணம் எத்திசையிலிருந்து கண்ணினுள்ளே நுழைகிறதோ அத்திசையிலே அப்புள்ளி இருப்பதாகத் தோன்றும். எனவே, ஒரு புள்ளி அல்லது அதன் படிவம் நமது கண்ணுக்குப் புலப்படும்போது, நமது கண்ணிலே படும் கிரணம் ஒவ்வொன்றையும் பின்னுக்கு நீட்டினுல், அவை ஒன்றையொன்று சந்திக்குமிடத்திலே அப்புள்ளியாவது அல்லது அதன் படிவமாவது இருக்கும்.

ஒரு புள்ளிக்குப் பதிலாக நாம் ஒரு பருப்பொருளைக் (Extended Source) காணவேண்டுமானுல் அப்பொருளைப் பலவேறு துகள்களாகப் பிரித்துக்கொண்டு, ஒவ்

வொரு துகளின் நிலையை அல்லது அதன் படிவத்தின் நிலையை மேலே கண்டவாறு நிர்மாணிக்க, இவற்றின் தொகை அம்முழுப் பொருள் அல்லது அதன் படிவ மாகும்.

ஒரு சமதள ஆடியிலே காணப்படும் ஒரு புள்ளி யின் படிவத்தின் நிலையை நிர்ணயிக்க :—முன்னொரு பரிசோதனையில் கூறியவாறு ஒரு படப் பலகையின் மீது ஒரு சமதள ஆடியை நிறுத்த வும். அதன் விளிம்புவரை (outline) ஸ நி என்று கொள் வோம். (படம் 233 (1)). ஒரு குண்டூ சியை ப என்ற இடத் திலே குத்தி நிறுத்த வும். மற்றும் க, கி, கீ .... என்னும் குண்டூசிகளை பரஸ் பரம் 1 செ. மீ. விலகி இருக்கும்படி குத்தி நிறுத்தவும்.



படம் 233 (1)

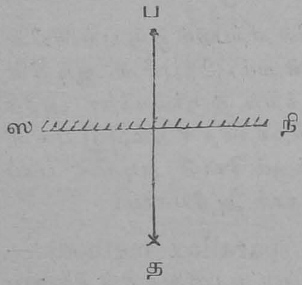
இப்போது ப என்னும் குண்டூசியின் படிவத்தை ஆடியிலே கண்டு, அப்படிவமும், க என்னும் குண்டூசி யும் ஒன்றையொன்று மறைக்கும்படி கண்ணை வைத் துக்கொண்டு, அவற்றோடு ஒரே நேர்கோட்டில் நிற்கும் படி ர என்ற மற்றொரு குண்டூசியைக் குத்தி நிறுத்த வும். இவ்வாறே ப என்னும் குண்டூசியின் படிவத் தோடும், கி என்னும் குண்டூசியோடும் ஒரே நேர்கோட் டில் நிற்குமாறு, ரி என்ற குண்டூசியைக் குத்தி நிறுத்த வும். இவ்வாறே ரீ, ரு என்னும் குண்டூசிகளையும் குத்தி

நிறுத்தி வைக்கவும். இப்போது க ர, கி ரீ, கீ ரீ...என்பன ஒவ்வொன்றும் ஒவ்வொரு மீட்சிக்கிரணமாகும். இவை ஒவ்வொன்றின் திசையிலும் ப என்னும் ஊசியின் படிவம் தென்படுகிறது. எனவே க ர, கி ரீ, கீ ரீ என்பனவற்றை ஒன்றுசேர்த்து நீட்டிவிட, அவையெல்லாம் ம என்னும் புள்ளியிலே சந்திக்கும். இப்புள்ளியே ப என்னும் குண்டூசியினது படிவத்தின் நிலையாகும். பிரதிபலித்த கிரணங்களெல்லாம் ம என்னும் புள்ளியிலிருந்து வெளிப்படுவதாகத் தோன்றுவதால் ம என்பது ப என்னும் புள்ளியின் பொய்ப்படிவம் ஆகும். மற்றும் ம ப என்னும் நேர்கோட்டைச் சேர்க்க அது ஸ நி யை த-வில் வெட்டினால், ப ம என்பது ஸ நி-க்கு லம்பமானது என்றும், த ப = த ம என்றும் அளந்து தெளியலாம்.

எனவே, சமதள ஆடியில் ஏற்படும் ஒரு புள்ளியின் படிவம் (1) பொய்யானது என்றும், (2) புள்ளி ஆடியின் முன்னால் எவ்வளவு தூரத்தில் இருக்கிறதோ அதே தூரத்தில் பின்னால் படிவம் நிற்கிறதென்றும், (3) புள்ளியையும் படிவத்தையும் சேர்க்கும் கோடு ஆடியின் பரப்புக்கு லம்பமானது என்றும் நாம் அறியலாம்.

புடைபெயர்ச்சி முறை (parallax method):— ஒரு சமதள ஆடியிலே காணப்பட்ட படிவத்தின் நிலையை நிர்ணயிப்பதற்கு மற்றொரு முறை உண்டு. இது புடைபெயர்ச்சி முறை எனப்படும். 'புடைபெயர்ச்சி' என்று இங்கே கூறப்படுவதை 'காண்போன் நிலைமாறுவதால் காணப்பட்ட பொருளிலே தோற்றும் திசைவேறுபாடு' என்று கூறலாம். இதை விளக்கும்முறை வருமாறு:— A, B என்ற இரண்டு பொருள்களை ஒன்றன் பின்னொன்றாக வைக்கவும். இப்போது நமது கண்ணைச் சற்றே வலதுபுறமாகக் கொண்டுபோனால் அண்டையிலிருக்கும் A இடதுபுறம் நகர்ந்துவிட தூரவிருக்கும் B வலது

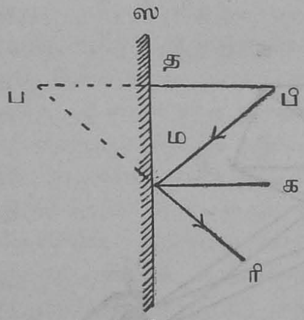
புறமாக நகருவதாகத் தோற்றும். இவ்வாறே கண்ணை இடதுபுறம் கொண்டுபோனால் A வலதுபுறம் நகர்ந்து செல்ல B இடதுபுறமாக நகருவதாகத் தோற்றும். அதாவது தூரத்திலிருக்கும் பொருள் கண்போனேடு நகருவதாகவும், அருகிலிருக்கும் பொருள் கண்போனுக்கு எதிர்த்திசையிலே நகருவதாகவும் தோன்றுகிறது. B யை A-யின்மீது பிடித்தால், படுக்கைத் தளத்திலே எத்திசையிலிருந்து நோக்கினும் A, B க்கள் ஒன்று சேர்ந்தே காணப்படும். இதே தத்துவத்தை நாம் படிவத்தைக் காணுவதற்கான இரண்டாவது முறையிலே பிரயோகிக்கிறோம். ஒரு நேரக வடிவான ஆடித் துண்டைச் செங்குத்தாக ஸ நி என்னும் கோட்டின்மீது நிறுத்தி வைக்கவும். (படம் 233 (2)) கண்ணாடியின் உயரத்தைவிட அதிக நீளங்கொண்ட ப என்னுமொரு குண்டூசியை எடுத்து அதைத் த-வின் படிவம் சுமாராக இருக்கக்கூடியதாகத்தோற்றுமிடத்திலே குத்தி நிறுத்தவும். இப்போது த-வின் படிவமும் ப-வின் மேற்பகுதியும் ஒரே தொடர்ச்சியாகத் தோன்றவேண்டும். இந்த நிலையிலே கண்ணை மெதுவாக ஒருபுறம் நகர்த்தவும். இப்போது படிவமும் ப வின் மேற்பகுதியும் பிரிந்து காட்டும். ப கண்ணோடும் த வின் படிவம் கண்ணுக்கு எதிர்த் திசையிலும் நகர்ந்தால், ப அதிக தூரத்திலிருக்கிறதென்று தெரிந்துகொண்டு அதைச் சற்றே ஆடியை நோக்கி நகர்த்தவும். ப கண்ணிற்கு எதிர் திசையிலும் த வின் படிவம் கண்



படம் 233 (2)

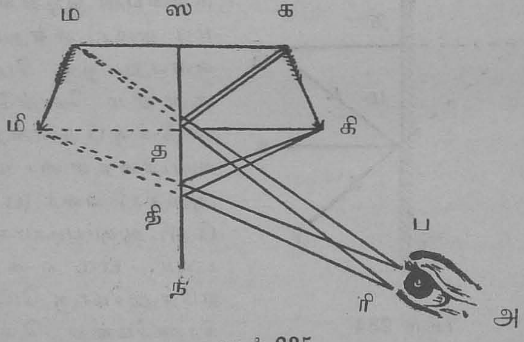
ணேடும் நகர்ந்தால், ப மிக அருகில் வந்துவிட்டதென்று தெரிந்துகொண்டு, அதைச் சற்று தூரத்திலே போகும்படி நகர்த்தவும். இவ்வாருக ப வை வேண்டியவரை நகர்த்திச் சரிப்படுத்தி கண் எப்பக்கத்திலே நகர்ந்தாலும் த வின் படிவமும் ப-வும் பிரிந்து காட்டாத நிலையை அடையும்படி சரிப்படுத்தவும். இந்த நிலையிலே த வின் படிவமும், ப-வும் ஒரே இடத்தில் நிற்கவேண்டும். எனவே, நாம் த வின் படிவம் நிற்கும் நிலையைக் கண்டுவிட்டோம். த ப வை ஒரு நேர்கோட்டினுல் சேர்த்து அதற்கு ஸ நி என்பது லம்ப ஈரரரியாக (perpendicular bisector) இருக்கிறதா என்று சரிபார்க்கவும். இப்பரிசோதனையை த வைப் பலவேறுஇடங்களில் வைத்துத் திருப்பிச் செய்து இதே முடிபைப் பெறலாம்.

ஒரு சமதள ஆடியிலேற்படும் படிவத்தை வடிவியல் முறையால் காண (Geometrical construction):—(படம் 234) ஸ கி என்பது ஆடியின் விளிம்பு வரை என்றும், பி என்பது ஒரு பொருள் என்றும் கொள்வோம். ஸ நி-க்கு பி த என்ற ஒரு லம்பத்தை வரையவும். அதை ப வரை (ப த = பி த) ஆகும்படியாக நீட்டவும். பிம என்பது ஏதேனுமொரு மோதுங் கிரணமென்று கொள்வோம். ப ம என்ற கோட்டைச் சேர்த்து, அதை ரீ வரை நீட்டிவிடவும். ம ரீ என்பது மீளும் கிரணமாகும். ம க என்ற லம்பத்தை வரையவும். நமது கரணத்தினுலே (construction) பிம, மரீ, மக என்பன சகதள



படம் 234

முடையன. மேலும் மபித, மபத என்னும் முக்கோணங்களிலே பித = தப. தம என்பது பொது. மற்றும் கோணம் பிதம = கோணம் பதம (இவையிரண்டும் செங்கோணங்கள்.) எனவே, மேற்கூறிய இரண்டு முக்கோணங்களும் சர்வ சமம் (equal in all respects). எனவே, கோணம் மபித=மபத. ஆனால் மக, தபி என்பன இணையாகையால் கோணம் கமபி = கோணம் மபித. மற்றும் கோணம் கமரி=கோணம் தபம. ஆகையால் கோணம் கமரி=கோணம் கமபி. மரி என்பது மோதுங் கிரணத்தோடும் லம்பத்தோடும் ஒரே தளத்திலிருக்கிறது. ஆகையால் மரி என்பதே மீளும் கிரணமாகும். பிம என்பது ஏதோ ஒரு மோதுங்கிரணம். எனவே, எந்த மோதுங் கிரணத்துக்குரிய மீளுங் கிரணமும் ப வழியாகவே செல்லுகிறது. எல்லா மீளுங் கிரணங்களும் ப வழியாகச் செல்லுவதாகத் தோற்றவேண்டும். எனவே ப என்பது பி-யின் படிவமாகும்.



படம் 235

பருப்பொருளின் படிவம் :—பருப்பொருளென்பது பல துகள்களின் கூட்டமேயாகும். எனவே, இப்பல வேறு துகள்கள் ஒவ்வொன்றின் படிவத்தையும் தனித்

தனியே கண்டு, அவற்றைக் கூட்டினால்பருப்பொருளின் முழுப்படிவம் கிடைத்தாகவேண்டும். (படம் 235).

க கி என்னுமொரு பொருள் ஸ நி என்னுமொரு ஆடியின் முன்னிலையிலே வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். க, கி என்னும் புள்ளிகளிலிருந்து ஸநி-க்கு இரண்டு லம்பங்களை வரைந்து, அவற்றை ம,மி என்னும் புள்ளிகள் வரை நீட்டிவிடவும். இதிலே ஸ நி என்பது கம, கிமி என்னும் கோடுகளுக்கு ஈராரியாக இருக்கவேண்டும். இப்போது ம, மி என்பன முறையே க, கிக்களின் படிவங்களாகும். ம, மி என்னும் புள்ளிகளைச் சேர்த்தால் அது க கி யின் படிவமாகும். க கி யினிடைப்பட்ட ஒவ்வொரு புள்ளியின் படிவமும், ம மி யின் இடையிலே இருக்கிறதென்று மிக எளிதிலே நிரூபிக்கலாம். இதிலிருந்து பொருளின் அளவும் அதன் படிவத்தின் அளவும் சமமென்று காட்டலாம். மேலும் ஒரு பொருளும் சமதள ஆடியிலேற்படும் அதன் படிவமும், பிரதிபலிக்கும் பரப்புக்குச் சமசீராய் (Symmetrically) இருபுறமும் அமைந்திருக்குமென்பதையும் இதிலிருந்து பெறலாகும். பொருளும் படிவமும் ஒரே அளவினதாய் இருப்பினும் பொருளின் வலது புறம், படிவத்திலே இடதுபுறமாகவும், பொருளின் இடதுபுறம், படிவத்திலே வலதுபுறமாகவும் மாறி இருக்கிறது என்பதைக் கவனித்து நினைவில் வைக்கவேண்டும். இவ்வாறு பொருளிலும் படிவத்திலும் வல இடப் புறங்கள் மாறியிருப்பதைப் ‘புடை மாற்றம்’ (Lateral inversion) எனக் கூறுவார்கள். ஒருவன் ஒரு ஆடியின் முன்னின்று தன் வலது கையை ஆட்டினால் ஆடியினுள்ள அவனது படிவம் இடது கையை ஆட்டுவதுபோலிருக்கும்.

ஒரு படிவத்தைக் கண்ணால் பார்ப்பதற்குரிய கிரணங்களைக் காண:—ஒரு படிவத்திலிருந்து வெளிப்

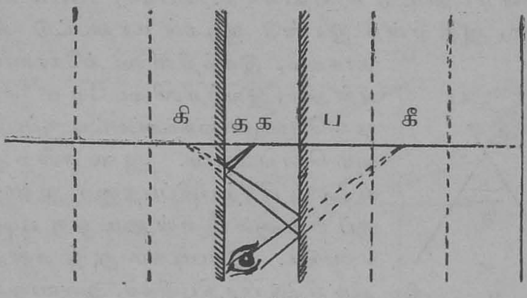
படும் கதிர்கள் செல்லும் வழியிலே கண் இருந்தால் தான் அக்கண் படிவத்தைப் பார்க்கவியலும். க கி என்னும் பொருளினது ம மி என்னும் படிவத்தை அ என்னுமிடத்திலிருந்து பார்ப்பதற்குரிய கிரணங்களை வரையும் முறை வருமாறு: (படம் 235. 718-ம் பக்கம்).

மி இலிருந்து கண்ணினது விழியின் ப ரி என்னும் இரு முனைகளையும் சேர்க்கும்படி கோடுகளை வரையவும். இவை பிரதிபலிப்புப் பரப்பை முறையே தி, த என்னுமிடங்களிலே குறுக்கிடும். தி த என்னும் புள்ளிகளை கி யோடு சேர்க்கவும். இப்போது கி த ப, கி தி ரி என்பன கண் கி யைப் பார்க்கும் கதிர்க் கற்றையின் வரம்புகளாகும். இவ்வாறே க என்னும் புள்ளியைப் பார்ப்பதற்காகவும் கதிர்க் கற்றைகளை வரையலாம்.

இரண்டு சமதள ஆடிகளிலே பிரதிபலித்தல் :— ஒரு சமதள ஆடியிலே பிரதிபலித்து மீண்டு வந்ததொரு கிரணம், மற்றொரு சமதள ஆடியின்மீது மோதினால் இதே விதிகளுக்குட்பட்டு மறுபடியும் பிரதிபலிக்கும். இந்த இரண்டாவது ஆடியிலே பிரதிபலித்த படிவத்தைக் காணும்போது, அதன் மீது விழும் கிரணங்கள், முதல் படிவத்திலிருந்து விரிந்து வெளி வருவன போன்று தோற்றுமென்பதை நினைவுகூரவேண்டும். எனவே, இந்த இரண்டாவது பிரதிபலிப்பு நிகழும் போது முதல் படிவத்தையே பொருளாகக் கொள்ள வேண்டும்.

இரண்டு இணையான ஆடிகள் :—(படம் 236). ஸ, நி என்பன இரண்டிணையான ஆடிகள் என்றும், க என்பது இவற்றினிடையே வைக்கப்பட்டதொரு பொருள் என்றும் கொள்வோம். க-வின் வழியாக இரண்டு ஆடிகளுக்கும் லம்பமாகுமாறு த ப என்னும்

கோட்டை வரைந்து அதை இருபுறமும் நீட்டிவிடவும். பிரதிபலிப்பு விதிகளின்படி க வின் படிவங்களெல்லாம் இக்கோட்டின் மீதே நிற்கவேண்டும். முதலில் ஸ என்னும் ஆடியிலேற்படும் படிவத்தைக் கவனிப்போம். க வின் படிவமொன்று ஸ-வுக்குப் பின்னால் ஏற்படும். இதைக் கி என்று குறித்தால் கி த=க த ஆகும். இந்தப் படிவம் நி என்னும் ஆடியின் முன்னிலையில் இருப்பதால் நி யிலே இதன் படிவமொன்று நி யின் பின்னால் ஏற்படும். இதை கீ என்று குறிப்பிட்

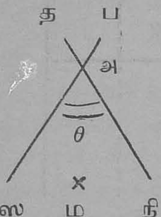


படம் 236

டால், கி ப=ப கீ ஆகும். இந்தப் படிவம் ஸ என்னும் ஆடியிலே இவ்வாறே கு என்னும் படிவமொன்றையும் பிரதிபலிப்பு முறைப்படி உண்டாக்கும். இவ்வாறு உண்டாகும் தொடரான படிவங்களின் எண்ணிக்கைக்கு ஓர் வரம்பு இல்லையாகும். இவ்வாறே முதலில் க-வின் படிவம் நி என்னும் ஆடியிலே கா என்று தோன்ற அதிலிருந்து கெ, கே...என்னும் தொடரான படிவங்களுண்டாகும். இவற்றின் எண்ணிக்கைக்கும் யாதொரு வரம்பு இல்லையாகும். அநுமான முறைப்படி இவ்வாறு ஏற்படக்கூடிய படிவங்களின் எண்ணிக்கைக்கு ஓர் வரம்பிலாதாயினும் அநுபவத்திலே சில

படிவங்களையே நாம் பார்க்கக்கூடும். இதற்குக் காரணம் ஒவ்வொரு பிரதிபலிப்பிற்குப் பின்னும் ஒளியின் பிரகாசம் அல்லது உறைப்பு குறைந்துவிடுதலேயாகும். இவ்வாறு படிவத் தொடர்கள் உண்டாகும்போது ஒளிக் கிரணங்கள் செல்லும் பாதைகளைப் படம் 236 காட்டுகிறது.

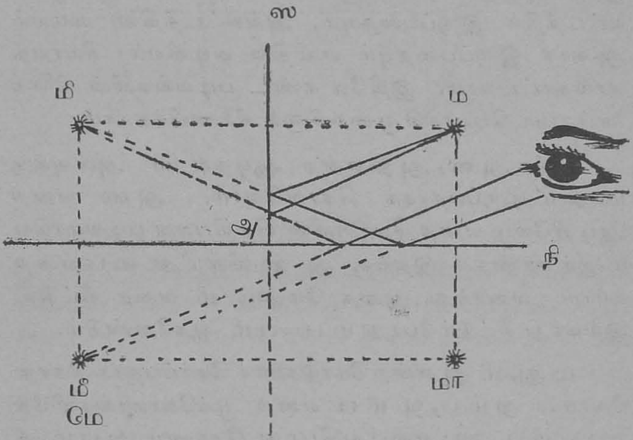
ஒருபுறத்து விளிம்போன்றிய ஆடிகள் (Inclined mirrors) :—இரண்டு ஆடிகள் இணையாக நில்லாது அவற்றின் தளங்களினிடையே கோணமேற்பட்டால் அவை மாறுபட்டு நிற்பதாகக் கூறப்படும். (படம் 237). அஸ, அநி என்ற இரண்டு ஆடிகள் மாறுபட்டு நிற்பதாகவும், இவற்றினிடைக்கோணம் θ என்றும், இவற்றினிடையே ம என்ற ஒரு பொருள் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகவும் கொள்வோம். அஸ என்ற ஆடியிலே ம பிரதிபலிப்பதனால் அஸ-வுக்குப் பின்னால் மீ என்னும் ஒரு படிவம் ஏற்படும். இப்படிவம் அநி என்னும் ஆடியிலே பிரதிபலிக்க, அவ்வாடியின் பின்னால் மீ என்ற இரண்டாவது படிவமும், இப்படிவம் அஸவில் பிரதிபலிக்க, மு என்னும் நான்காவதொரு படிவமும் ஏற்படும். இவ்வாறு ஏற்படும்போது ஒரு படிவம் த அ ப என்னும் எல்லைக்குள்ளே வந்துவிடுவதாகக் கொள்வோம். இப்படிவம் இரண்டு ஆடிகளுக்கும் பின்னே நிற்பது. எனவே, இது இரண்டு ஆடிகளிலும் பிரதிபலித்தலில்லை: இவ்வாறே ம என்னும் பொருள் முதலில் அநி என்னும் ஆடியிலே பிரதிபலிக்க அதற்குப் பின்னால் மா என்னும் படிவமும், இப்படிவம் அஸவிலே பிரதிபலிக்க அதனால் மே என்னும் படிவமும், இவ்வாறே மே, மோ என்ற ஒரு படிவத்தொடர் ஏற்



படம் 237

படும். இத்தொடரிலே ஒரு படிவம் ப அ த என்னும் இடத்திற்குள்ளே வந்துவிட்டால் இத்தொடரும் முடிவு பெற்றுவிடும். எனவே, ஒரு பொருள் இரண்டு மாறுபட்ட ஆடிகளினிடையே நின்றால் அதனால் இரண்டு வரையறுத்த படிவத் தொடர்கள் உண்டாகுமென்று தெரிகிறது.

முதலில் இவ்வாடிகளினிடைப்பட்டது ஒரு செங்கோணமென்று எடுத்துக்கொள்வோம். (படம் 238).



படம் 238

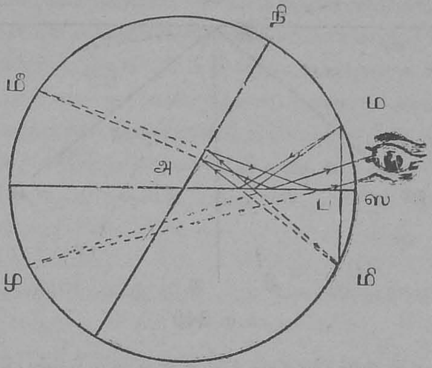
அ ஸ, அ நி என்பன செங்கோணத்திலே மாறுபட்டு நிற்கும் இரண்டு ஆடிகளென்றும், ம என்பது அவற்றினிடைப்பட்டதொரு பொருளென்றும் கொள்வோம். முதலில் ம-வினது படிவமொன்று அ ஸ என்ற ஆடியின் பின்னால் விழுகிறது. இதை மி என்று குறிப்பிடுவோம். இவ்வாறே ம வின் படிவமொன்று அ நி என்ற ஆடியின் பின்னாலும் விழுகிறது. இதை மா என்று குறிப்பிடுவோம். மி என்ற படிவம் அ நி என்ற ஆடியின் முன்

னிலையில் நிற்பதால், அதன் பிரதிபலன படிவமொன்று அ நி என்ற ஆடியின் பின்னால் விழும். இதை மீ என்று குறிப்பிடுவோம். இவ்வாறே அ ஸ என்ற ஆடியிலே மா என்ற படிவத்தின் பிரதிபலன படிவமொன்று விழும். இதை மே என்று குறிப்பிடுவோம். இவ் வமைப்பின் வடிவியலை நோக்க மீ, மே என்ற படிவங்கள் ஒன்றே என்பதும் வேறல்ல வென்பதும் விளங்கும். எனவே, இதில் மூன்றே படிவங்கள் தோற்றுகின்றன. இந்த மூன்று படிவங்களும், ம என்ற பொருளும் ஒரே வட்டத்தில் இருப்பதையும், அவ்வட்டத்தின் மையம் அ-வாக இருப்பதையும் எளிதில் வடிவியல் நியாயத் தால் காட்டலாம். இதிலே கண்ட படிவங்களின் நிலைக ளைப் புடைபெயர்ச்சி முறையினால் நிர்ணயிக்கலாம்.

நிற்க அ ஸ, அ நி என்ற ஆடிகள் 60° அளவுக்கு மாறுபட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். அ ஸ என்ற ஆடியிலே ம என்ற பொருளின் பிரதிபலன படிவமாகிய மீ-ஐக் காண்க. இதற்கு அ ஸ-வின்மீது ம ப என்ற லம்பம் வரைந்து அதை மேலும் மீ வரை நீட்டுக. இவ்வாறு நீட்டும்போது ம ப = ப மீ ஆகவேண்டும்.

ம அ, மீ அ என்ற கோடுகளைச் சேர்ப்பதாக கொள் வோம். அ ம ப, அ மீ ப என்ற முக்கோணங்களிலே மப = மீப. அப என்பது பொது. கோணம் அ ப ம = கோணம் அ ப மீ. எனவே இம்முக்கோணங்கள் சர்வ சமம். இதனால் அ ம = அ மீ. ஆகையால் ம, மீ என் பன அ-வை மையமாகக்கொண்டதொரு வட்டத்தின் மீது நிற்கின்றன. இவ்வாறே பின்னும் செய்துகொண்டு போனால் அந்த அமைப்பிலே ஐந்து படிவங்கள் இருப் பதும், அவையும் ம என்ற பொருளும் ஒரு வட்டத்தின் மீது நிற்பதும் தெரியவரும். ஆடிகளுக்கிடைப்பட்ட θ என்ற கோணம் குறுகக் குறுக, படிவங்களின் எண் ணிக்கை அதிகரிப்பதைக் காணலாம். இவற்றைத்

தொகுக்கும் இணைவு வருமாறு. $n=\frac{360}{\theta}-1$. இதில் n என்பது படிவங்களின் எண்ணிக்கை.

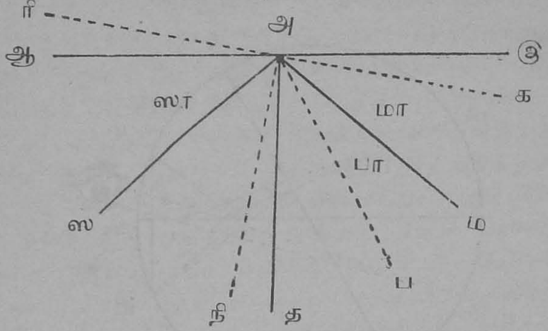


படம் 239

இதிலேற்படும் படிவங்களின் நிலைகளையெல்லாம் புடைபெயர்ச்சி முறையினால் நிர்ணயித்துவிடலாம். (படம் 239)லே காண்போனது கண் ழ என்னும் படிவத்தை எவ்வாறு காண்கிறது என்பது காட்டப்பட்டுள்ளது.

சமதள ஆடியின் சுழற்சி:-(படம் 240). ஒரு ஆடியின்மீது ஒரு கிரணம் மோதிப் பிரதிபலிக்கும்போது, அவ்வாடி θ என்னும் கோணத்தினளவு சுழற்றப்பட்டால், மீளும் கிரணம் 2θ என்னும் கோணத்தினளவு திரும்பும். இதை நிரூபிக்கும் முறை வருமாறு:— ஆ இ என்பது நிமிர்வையாக நிறுத்தப்பட்ட ஒரு ஆடியின் விளிம்பு வரை என்று கொள்வோம். ஸ அ என்பது மோதுங்கிரணம் என்றும், அ ம என்பது மீளும் கிரணமென்றும், அ த என்பது மோதுவாயின்

லம்பமென்றும் கொள்வோம். இவ்வாடி அ-வின் வழி யாகச் செல்லும் நிமிர்வையானதொரு இருசைச் சுற்றி



படம் 240

ரி அ ஆ என்னும் கோணத்தினளவு சுழற்றப்படுவதாகக் கொள்வோம். அப, அநி என்பன முறையே மீளும் கிரணம், லம்பம் ஆகியவற்றின் பின்னிலைகள் என்றும் கொள்வோம்.

கோணம் ரி அ ஆ = கோணம் நி அ த
= கோணம் ஸ அ த — கோணம் ஸ அ நி
= $\frac{1}{2}$ கோணம் ஸ அ ம — $\frac{1}{2}$ கோணம் ஸ அ ப.
ஆனல் $\frac{1}{2}$ (கோணம் ஸ அ ம — கோணம் ஸ அ ப
= $\frac{1}{2}$ கோணம் ம அ ப

ஆனல் $\frac{1}{2}$ கோணம் ம அ ப, மீளும் கிரணம் சுழன்ற கோணத்தில் பாதியாகும். இது நமது ஊகையை நிரூபிக்கிறது.

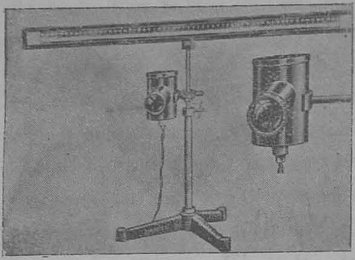
இதை எளிதிலே பரிசோதித்துவிடலாம். ஒரு மரப்பலகையின்மீது விரிக்கப்பட்டுள்ள தாளில் ரி அ க, ஆ அ இ என்னும் இரண்டு வெட்டுங் கோடுகளை வரைந்து, அவற்றினிடைக்கோணம் θ வை அளந்து

கொள்ளவும். ஒரு ஆடித்துண்டை ஒரு கோட்டின்மீது வைத்து, அதன் முன்னல் ஸ, ஸா என்னும் குண்டூசிகளை நிறுத்தவும். இதைமோதும் கிரணமாகக்கொண்டு, மா ம என்னும் மீளும் கிரணத்தை கண்டுபிடிக்கவும். இப்போது ஸ ஸா-க்களை மாற்றிவிடாமல் ஆடியை மட்டும் மற்றொரு கோட்டோடு பொருந்தவைத்து, இப்போதைய மீளும் கிரணமாகிய பா ப-வைக் கண்டுபிடிக்கவும். ஆடியை எடுத்துவிட்டு ப பா, ம மா என்னும் கோடுகளை நீட்டி வெட்டவிட்டு, அவற்றினிடைக் கோணத்தை அளந்தால் அது 2θ அளவு இருப்பது விளங்கும்.

ஆடிகளைச் சுழற்றிச் சிறு கோணங்களை அளத்தல்:—மெல்லிய சிறிய காந்த ஊசிகளைப் போன்றவை மிகச் சிறு கோணங்களிலே சுழலும்போது அக் கோணங்களை அளக்கவேண்டி நேரிடலாம். மேலே நாம் கண்ட தத்துவம் இவ்வாறு அளப்பதற்குப் பெரிதும் பயன்படுகிறது. இச்சிறு கருவிகளோடு நீண்ட சூசிகைகளை இணைக்க முடியாது. நீண்ட சூசிகைகளின் கனத்தை இவை தாங்கமாட்டா. ஆனல் ஒளிக்கிரணங்களுக்குக் கனமின்மையால் இவற்றை சூசிகைகளாகப் பயன்படுத்தலாம். மற்றும் இவைகளின் நீளத்தை நாம் வேண்டிய அளவுக்குப் பெருக்கிக்கொள்ளலாம். சிறு கோணங்களையும் இவை பெருக்கிக் காட்டுவதால் அவற்றை அளப்பது எளிதாகும். இதை இரண்டு முறைகளிலே செய்வதுமுண்டு.

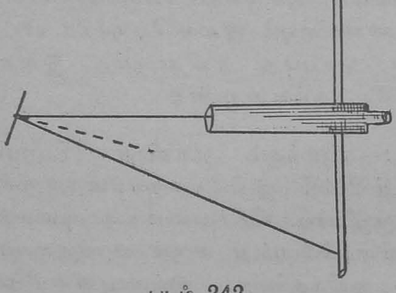
முதல் முறை:—விளக்கும் அளவியும் (Lamp and scale). (படம் 241). இதிலே சுழல்கின்ற கருவியின்மீது ஒரு சிறு குழியாடி நிமிர்வையாக ஒட்டிவைக்கப்படும். ஒரு விளக்கிலிருந்து வரும் ஏறக்குறைய இணையானதொரு ஒளிக்கற்றை, இவ்வாடியின்மீது

தாக்கிப் பிரதிபலித்து மீண்டு, சுமார் ஒரு மீட்டர் தூரத்திலுள்ளதும் படுக்கைவாக்கிலே நிற்பதுமான ஒரு அளவியின் மீது படும். விளக்கு ஏற்றி வைக்கப்பட்ட குழல்வாயிலின் குறுக்கே நிமிர்வையாகக் கட்டப்பட்டதோர் மெல்லிய கம்பியின் படிவம் அளவியின் பிரிவுகளின்மீது நகர்ந்துசென்று காட்டும். நாம் அளக்கவேண்டிய கருவி θ என்னுமொரு சிறுகோணத்தினளவு சுழன்றால், இந்த மீளுங் கதிர்க்கற்றை (2θ) அளவு சுழலுவதால் ஒளிவட்டம் அளவியின்மீது நெடுந்தூரம் நகர்ந்து செல்லும். இத்தூரத்தை அளவியில் கண்டு, அதை, அளவிக்கும் ஆடிக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தினால் வகுக்க, 2θ என்னும் கோணமும் அதன் பாதியாகிய θ என்னும் கோணமும் கிடைக்கும். இதை இருட்டறையில் மட்டுமே நன்றாகக் கையாளமுடியும்.



படம் 241

அளவி-தூரதரிசனி (scale and telescope): — (படம் 242). இந்த முறையிலே சுழலுகின்ற சிறு கருவியின் மீது ஒரு சிறு சமதள ஆடி ஒட்டப்பட்டிருக்கும். அது சுழலும் தளத்திற்கு இணையாக ஒரு அளவி ஏற்றி வைக்கப்பட்டிருக்கும். இந்த அளவியினருகில் அதன்



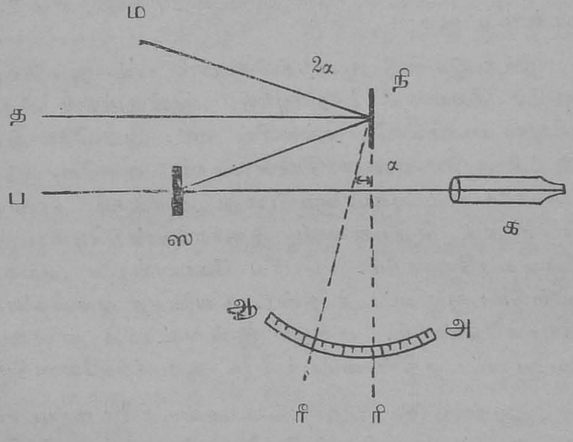
படம் 242

நடுவிலே ஒரு தூரதரிசனி ஆடியை நோக்கியவாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கும். அளவி நன்ருக ஒளியிடப்பட்டிருக்கும். இவ்வளவியின் பிரிவுகள் ஆடியிலே பிரதிபலிக்கப்படும். இவ்வாறு பிரதிபலிக்கப்பட்ட படிவங்களின்மீது தூரதரிசனி குவியப்படுத்தப்படும். இந்த நிலையிலே ஆடியோடு கூடிய கருவி (θ) என்னும் கோணத்தினளவு சுழன்ருல், தூரதரிசனியிலே பிரிவுகள் நகர்ந்து செல்வதாகக் காணப்படும். தூரதரிசனியின் பார்வைப் பகுதியின் (Eye-piece) குறுக்கேயிடப்பட்டுள்ள மெல்லியதொரு கம்பியினுதவியால் அதில் தெரியும் பிரிவுகளை நன்ருக வாசிக்கக்கூடும். ஆடி சுழலுவதற்கு முன்னும் பின்னுமிருந்த வாசகங்களின் வேற்றுமையை, தூரதரிசனிக்கும் ஆடியிற்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தால் வகுக்க வருவது (2 θ) ஆனுல், ஆடி சுழன்ற கோணம் θ ஆகும்.

இந்த இரண்டு முறைகளினுலும் நாம் அளப்பது tan 2θ வேயன்றி (2 θ) அல்ல. ஆயினும், θ மிகச் சிறியதாகையால் கோளங்களின் வட்டஅளவிலே நாம் tan 2 θ = 2 θ என்று கொள்ளலாம். எனவே, இந்த முறைகளை நாம் கையாளும்போது அளக்கும் கோணங்கள் மிகச் சிறியனவாய் இருக்கவேண்டுமென்பதை நினைவுகூரவேண்டும். பெரிய கோணங்களை அளக்க வேண்டுமானுல் வட்டத் துண்டாக வளைந்த அளவிகளைக் கையாளவேண்டும். மற்றும் இவ்வட்டத் துண்டையுடைய வட்டத்தின் மையத்திலே ஆடி நிற்கவேண்டும்.

அறுகால் (Sextant) :—வானவியலிலே கையாளப்படும் இந்தக் கருவியிலும் மேலே கண்ட தத்துவம் பிரயோகிக்கப்படுகிறது. நட்சத்திரங்கள், கோள்கள் (planets) முதலிய சோதி மண்டலங்களின் உயர்ச்சி அல்லது நிவப்பைக் (altitude) காண்பதற்காக இது கையாளப்படுகிறது. இதனுல் தூரத்திலுள்ள இரண்டு

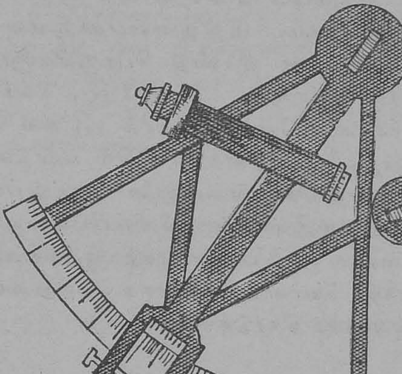
பொருள்களுக்கிடைப்பட்ட கோணவியல் தூரத்தை (angular distance) அளவிடக்கூடும். (படம் 243 (1)) இதில் ஸ, நி என்னும் இரண்டு ஆடிகள் இருக்கின்றன. ஸ என்னும் ஒரு ஆடி கருவியோடு சேர்த்து நிலையாக ஒட்டப்பட்டிருக்கும். நி என்னும் மற்றொன்று ஒரு இருசைச் சுற்றிச் சுழலக்கூடும். இதன் சுழற்சியை, இதனோடு இணைக்கப்பட்டதொரு சூசிகையினுதவியைக் கொண்டு அ ஆ என்ற வட்டத் துண்டின் மீதுள்ள அளவியினால் அளக்கக்கூடும். இதிலே ஒரு வெர்னியரும் சேர்க்கப்பட்டிருப்பதுண்டு. ஸ என்னும் ஆடியின் மேற் பாதியிலே பின்புறமுள்ள ரசப்பூச்சு நீக்கப்பட்டிருக்கும். இதை நோக்கியபடி நிற்கும் க என்ற ஒரு தூரதரிசனியினது பொருட்பகுதியின் (object glass) மேல் பாதி



படம் **243** (1)

யிலே ஸ என்னும் ஆடியின்மேல் பாகத்திலிருந்து வரும் ஒளியும், கீழ்ப்பாதியிலே ஆடியின் கீழ்பாகத்திலிருந்து பிரதிபலித்து மீண்டு வரும் ஒளியும் உட்புகும். ப ஸ

என்பது நெடுந்தூரத்திலுள்ளதொரு பொருளிலிருந்து வரும் ஒரு ஒளிக்கிரணம் என்றும் கொள்வோம். இது ஸ-வைத் தாண்டி தூரதரிசனியினுள்ளே புகுந்து ஆங்கொரு படிவத்தை யுண்டாக்குகிறது. இப்போது நி என்னும் இயங்கும் ஆடியைத் திருப்பி, அதே பொருளிலிருந்து வரும் (த நி) என்னுமொரு ஒளிக்கிரணம் நி, ஸ என்னும் ஆடிகளிலே பிரதிபலித்துப் பிறகு, தூரதரிசனியினுள்ளே புகும்படி செய்யவும். இது அதே பொருளினது மற்றொரு படிவத்தை யுண்டாக்



படம் **243** (2)

கும். நி-யைச் சரிவரத்திருப்பி இந்த இரண்டு படிவங்களும் ஒன்றின் பக்கத்திலே மற்றொன்று வரும்படி செய்யவும். இப்போது ப ஸ என்னும் நேரே வரும் கிரணங்கள் படிவத்தை உண்டாக்கிக் கொண்டிருக்கும்படியே தூரதரிசனியை வைத்துக்கொண்டு, நி என்னும் ஆடியைத் திருப்பி மற்றொரு பொருளிலிருந்து வரும் ம நி என்னும் கிரணங்கள் தூரதரிசனியினுள்

நுழைந்து இரண்டாவது பொருளின் படிவத்தை முதல் பொருளின் படிவத்திற்குப் பக்கத்திலே உண்டாக்குமாறு செய்யவும். கிரணங்களை எதிர்த்திசையில் செலுத்துவதால் அவற்றின் வழி மாறுவதில்லையாதலால், முதல் நிலையிலே ஸநி என்ற திசையிலே வந்து மோதியதொரு கிரணம் நித என்னும் திசையிலே பிரதிபலித்து மீண்டு நிற்க, இரண்டாவது நிலையிலே ஸநி என்ற திசையிலே வந்த கிரணம் நிம என்னும் திசையிலே பிரதிபலித்து மீண்டது. எனவே, α என்பது ஆடி திரும்பிய கோணமானால் கோணம் மநித $= 2\alpha$ ஆகும். மநித என்பது நி என்ற இடத்திலே தூரத்திலுள்ள இரண்டு பொருள்களும் எதிர் கொண்ட கோணமாகும். எனவே, வெர்னியரின் இரண்டு நிலைகளின் வேற்றுமையால் (α) வை அளந்துவிடவே இந்தக்கோணத்தை எளிதில் கண்டுவிடலாம். இவ்வாறு அளவியின் வாசகங்களை இரட்டிப்பதற்குப் பதிலாக வட்டத்துண்டின் விளிம்பிலே ஒவ்வொரு அரைப்பாகையும் ஒரு பாகையாகக் குறிக்கப்பட்டிருக்கும். இதனால் வெர்னியரின் வாசக வேற்றுமை நேரே 2α வின் அளவைக் கொடுக்கும்.

வினாக்கள்

1. 'பலபடிப் பிரதிபலனம்' எவ்வாறு நிகழ்கிறது என்பதைப் படம் வரைந்து காட்டுக.

இடையிலே 60° கோண மேற்படும்படியாக வைக்கப்பட்ட இரண்டு ஆடிகளுக்கு நடுவிலே வைக்கப்பட்ட ஒரு பொருளின் படிவங்களைக் காண்போன் எவ்வாறு காண்கிறான் என்று படம் வரைந்து காட்டுக.

(அண்ணாமலை 1934)

2. 60° கோணங்கொண்டு நிற்கும் இரண்டு ஆடிகளுக்கிடையே ஒரு பிரகாசமான பொறி நிற்கிறது. இதனால் 5 படிவங்கள் தோன்றுமென்று காட்டுக. மற்றும் படிவங்களிலொன்றை காண்போன் எவ்வாறு காண்கிறான் என்பதையும் வரைந்து காட்டுக.

3. இணையான இரண்டு ஆடிகள் ஒன்றையொன்று நோக்கி நிற்கின்றன. இவற்றினிடைவெளி 3 அடி. இவற்றினிடையே ஒரு ஆடியிலிருந்து 1 அடி தூரத்திலே ஒரு பொருள் வைக்கப்பட்டது. இவ்வாடிகளிலே காணப்படும் முதல் மூன்று படிவங்களின் நிலைகளைக் காண்க.

4. ஒரு சமதள ஆடியின் பிரதிபலனத்திலே அவ்வாடியின் முன்னால் எவ்வளவு தூரத்தில் பொருள் நிற்கிறதோ அதே தூரத்தில் ஆடியின் பின்னால் அதன் படிவம் நிற்குமென்பதை வடிவியல் காரணத்தால் காட்டுக.

இதை எவ்வாறு பரிசோதனையால் சரிபார்க்கலாம்?

(சென்னை : செப். 1927)

5. மோதுங் கிரணம் நிலைபெயராதிருக்க, அதைப் பிரதிபலிக்கும் சமதள ஆடி ஏதேனுமொரு கோணத்தி

னளவு சுழன்றால், மீட்சிக் கிரணம் அதைப்போன்ற இருமடங்கு கொண்ட கோணத்தினளவு சுழலும் என்பதை நிரூபித்துக் காட்டுக.

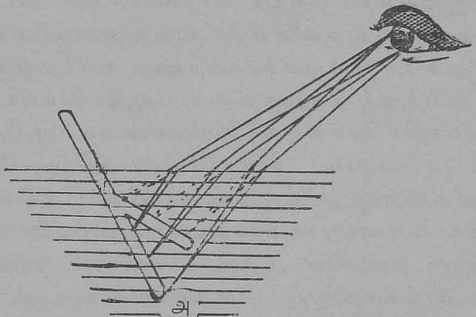
இதைக்கொண்டு சிறு விலக்கங்கள் எவ்வாறு அளக்கப்படுகின்றன என்பதை விளக்குக.

(சென்னை : செப். 1929)

அத்தியாயம் 3

சமதளப் பரப்புகளில் ஒளிக்கோட்டம்
(Refraction at Plane Surfaces)

இதுவரை ஒளிக்கிரணங்கள் சீரொத்த யானத்தில் செல்லுதலேப்பற்றியே நாம் விசாரித்தோம். இதில் ஒளிக்கிரணங்கள் நேர்கோடுகளிலே செல்லுகின்றன என்றும், இடையிலே ஒரு பிரதிபலிக்கும் பரப்பு எதிர்ப்பட்டால், இவ்வொளிக்கிரணங்கள் சில விதிகளுக்குட்பட்டு மீளுகின்றன என்றும் கண்டோம். ஆனல் ஒளி ஒரு யானத்திலிருந்து மற்றொரு யானத்திற்குச் சென்றால் அதன் திசை மாறிவிடுகிறது. இத்திசை மாற்றம் இரண்டு யானங்களும் கூடும் பரப்பிலே நிகழ்கிறது. மோதுங் கிரணம் யானங்களைப் பிரிக்கும் பரப்



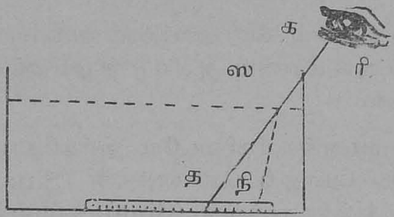
படம் **244**

புக்கு லம்பமாக இருக்கும்போதுமட்டும் இத்திசை வேறுபாடு நிகழ்வதில்லை. இத்திசை வேறுபாட்டையே ஒளிக்கோட்டம் என்று கூறுவது. இதைச் சிறிய பரி

சோதனைகளால் எளிதில் விளக்கலாம். ஒரு சிறு குச்சியின் ஒரு முனையைத் தண்ணீரிலே சிறிது முழுக்கி, அதை ஒரு புறமாகச் சாய்த்துப் பிடித்தால், நீரினுள்ளே முழுகியிருக்கும் அக்குச்சியின் பகுதி, நீர் மட்டத்திலே ஒடிந்து சிறிது மேல்புறமாக மடங்கி இருப்பதாகத் தோன்றும். இது படத்திலே (படம் 244) நன்கு விளக்கப்பட்டுள்ளது. குச்சியின் மீதுள்ள அ என்னும் புள்ளியிலிருந்து மேனோக்கிவரும் ஒரு கிரணம் நீரின் மட்டத்திலே கோட்டமடைந்து சிறிது கீழ் நோக்கிச் சாய்க்கப்பட்டுக் கண்ணுக்குப் புலனாகிறது. இதனால் அ என்னும் புள்ளி சிறிது மேலே தூக்கப்பட்டிருப்பதாகத் தோன்றுகிறது. இவ்வாறே நீரினுள் முழுகிய குச்சியின் பகுதி முழுவதுமே சிறிது மேலே தூக்கப்பட்டிருப்பதாகத் தோன்றுவதால் நீர்மட்டத்திலே அக்குச்சி ஒடிந்திருப்பது போலத் தென்படுகிறது.

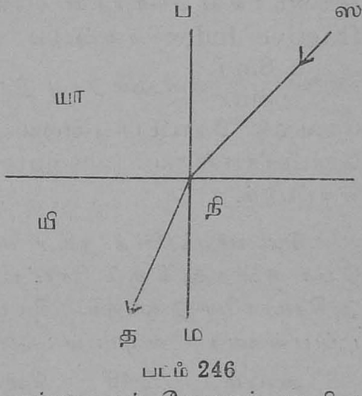
இதை மற்றொரு பரிசோதனையாலும் காட்டலாம். ஒரு கண்ணாடிக் குவளையிலே சாயத் தண்ணீரை நிரப்பி அதனுள்ளே ஒரு ஒளிக்கற்றையைச் சற்றே ஒரு புறமாகச் சாய்த்துச் செலுத்தினால், அது நீர்மட்டத்திலே திசைமாறிச் செல்வதைக் குவளையின் சுவர் மூலமாக நன்றாகப் பார்க்கலாம். தண்ணீர் மட்டத்திற்கு மேலே சிறிது சுண்ணத் தூளைத் தூவினால் நீர்மட்டத்தின் மேலே ஒளிக்கற்றை நன்றாகக் கண்ணுக்குப் புலப்படும். நீரிலே மிதக்கும் தூசிகளே அதனுட் செல்லும் ஒளிக்கற்றையைக் காட்டுவதற்குப் போதுமானவையாகும். இது நன்றாகத் தெரியாவிட்டால் 'இயோஸின்' (Eosin) கரைந்துள்ள சாராயத்திலே ஒரு துளியை நீரிலே கரைத்துவிட்டால், ஒளிக்கற்றை நல்ல பிரகாசத்துடன் புலப்படும். படத்தில் (படம் 245) விளக்கப்பட்டதொரு பரிசோதனை முன்காலத்தில் மிகப் பிரபலமடைந்தது. இதுவும் ஒளிக்கோட்டத்தையே விளக்குகிறது. ஒரு

குவளையினுள்ளே ஒரு சிறு நாணயம் போடப்பட்டிருக்கிறது. ஒருவன் படத்தில் கண்டபடி இந்நாணயம் தன் கண்ணுக்கு மறைவாக இருக்கும்படி நின்று பார்க்கிருன். இப்போது குவளையினுள்ளே தண்ணீரை நிரப்பினுல் நாணயம் அதே நிலையில் அவன் கண்ணுக்குப் புலப்படும் விதத்தை நன்ருக விளக்கிக் காட்டப்பட்டுள்ளது. நீர் நிலைகளிலே ஆழம் குறைவாகத் தோன்றுவதும், அதை நம்பி இறங்கும்போது ஆழம் அதிகமாக இருக்கக்கண்டு ஏமாறுவதும் இதே காரணம் பற்றித் தான்.



படம் 245

ஒளிக்கோட்ட விதிகள் :—ஸ நி என்னும் ஒளிக்கதிர் யா, யி என்னும் இரு யானங்களிடைப்பட்ட பரப்பிலேயுள்ள நி என்னும் புள்ளியிலே மோதுவதாகக் கொள்வோம். (படம் 246). நி த என்பது கோட்டிய கிரணம் என்றும் கொள்வோம். ப நி ம என்பது இப்பரப்புக்கு லம்பமானுல் கோணம் ஸ நி ப என்பது மோதும் கோணமும், த நி ம என்பது அதற்குரிய கோட்டக் கோணமும் ஆகும். பரிசோதனைக



படம் 246

ளால் காணப்பட்டு எடுத்துரைக்கப்படும் ஒளிக்கோட்ட விதிகள் இந்தக் கோணங்களின் அளவுகளைப்பற்றியும் நிலைகளைப் பற்றியும் கூறுகின்றன.

(1) மோதுங் கிரணம், மோதுவாயில் வரையப் பட்ட லம்பம், கோட்டிய கிரணம் ஆகிய மூன்றும் ஒரே தளத்திலிருக்கின்றன.

(2) இரண்டு யானங்களினிடையே ஒளிக்கோட்டம் ஏற்படும்போது, மோதுங் கோணத்தின் (Sine) சாய்வுக்கும் கோட்டக் கோணத்தின் (Sine) சாய்வுக்கும் உள்ள தகவு, அந்த இரண்டு யானங்களைப்பற்றிய வரையில் ஓர் மாறிலியாகும்.

இவ்வாறாக i என்பது மோதுங் கோணமும், r என்பது கோட்டக்கோணமும் ஆனால், $\frac{\sin i}{\sin r} = \mu$. இதில் μ என்பது இதேயிரண்டு யானங்களைப்பற்றிய வரையில் ஓர் மாறிலியாகும். முதல் யானத்தோடு ஒப்பிட இது இரண்டாவது யானத்தின் ‘கோட்டப் பான்மை’ (refractive index) எனப்படும். முதல் யானம் காற்று ஆனால் $\frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r}$ என்னும் தகவு இரண்டாவது யானத்தின் கேவலக் கோட்டப்பான்மை அல்லது தனிப்பியல் கோட்டப்பான்மை (absolute refractive index) எனப்படும்.

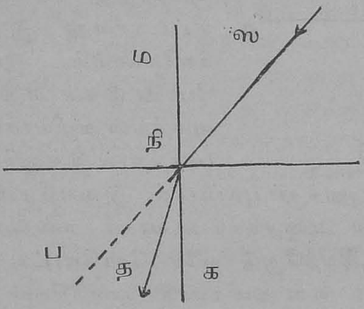
சில வாயுக்களைத் தவிர மற்றெல்லாத் தெளி பொருள்களுக்கும் கோட்டப்பான்மை ஒன்றைவிட அதிகமாகவே இருக்கும். சில பதார்த்தங்களின் கோட்டப்பான்மைகள் வருமாறு :—

வைரம்	2·42	கிளிஸரீன்	1·473
கல்லுப்பு	1·52	கரியிருக்கந்தகை	1·63
கண்ணாடி	1·50	டர்பென்டைன்	1·46
நீர்	1·33		

ஒளியின் கோட்டப்பான்மை அதன் நிறத்தையும் சார்ந்தது. மேலே கண்டவையெல்லாம் மஞ்சள் ஒளிக்குரிய கோட்டப்பான்மைகளாகும்.

கோட்டப்பான்மையை $_{m}\mu_{m1}$ என்று குறிப்பிடுவதும் உண்டு. m என்னும் யானத்தினின்று m_1 என்னும் யானத்திற்குச் செல்லும் ஒளிக்குரிய கோட்டப்பான்மை யென்பதே இதன் பொருளாகும். நிற்க, சாமானியமாய் ஒரு பதார்த்தத்தின் கோட்டப்பான்மை என்னும்போது அது காற்றோடு ஒப்பிட்ட அதன் கோட்டப்பான்மையையே குறிப்பது வழக்கம்.

m என்ற யானத்திலிருந்து m_1 என்னும் யானத்திற்கு ஒளி பாயும்போது மோதுங் கோணத்தைவிடக் கோட்டக்கோணம் சிறியதாகவோ அல்லது பெரியதாகவோ இருக்கலாம். அதாவது ஒளிக்கிரணம் இரண்டாவது யானத்திலே லம்பத்தை நோக்கி வளையலாம். அல்லது லம்பத்திலிந்து விலகி வளையலாம். லம்பத்தை நோக்கி ஒளிக்கிரணம் வளைந்தால் முதல் யானத்தைவிட இரண்டாவது யானத்தின் ஒளியியல் செறிவு மிகுந்தது (optically denser) என்றும், ஒளிக்கிரணம் லம்பத்தினின்று விலகி வளைந்தால் இரண்டாவது யானம் முதல் யானத்தைவிட ஒளியியல்செறிவு குறைந்ததென்றும் சொல்லப்படும்.

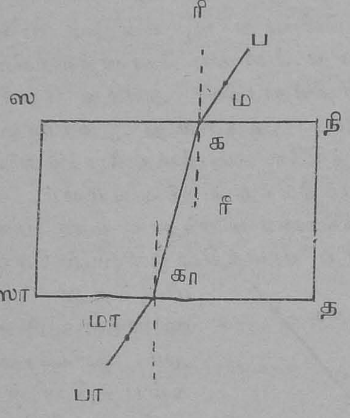


படம் **247**

மேலும் ஒளி யானம் மாறும்போது அதன் போக்கிலேற்படும் திசைவேறுபாட்டை 'விலக்கம்' (devia-

tion) என்று கூறுவதுண்டு. படத்திலே இது பநித என்னும் கோணம் ஆகும். இது $(i-r)$ என்னும் கோணத்திற்குச் சமமென்பது படத்திலிருந்து நன்கு விளங்கும். (படம் 247).

ஒளிக்கோட்ட விதிகளைச் சரிப்பார்த்தல் :—ஒரு மரப்பலகையின்மீது ஒரு தாளை விரித்து அதை நான்கு மூலைகளிலும் தைத்துவிட்டு, அதன்மீது ஒரு நேரகக் கட்டி (rectangular glass slab) வடிவான கண்ணுடித் துண்டை வைத்து அதன் விளிம்பு வரையைத் தாளிலே குறித்துக் கொள்ளவும். (படம் 248). இதன் ஒரு முகத்திற்கெதிரே ப, ம என்னும் இரண்டு குண்டூசிகளைக் குத்தி நிறுத்தவும். இவற்றினிடைத் தூரம் குறைந்தது 10 செ. மீட்டராவது இருக்கவேண்டும். இப்போது இதன் எதிர் முகத்தின் வழியாகப் பார்த்தால் இவ்வூசிகளின் படிவங்கள் கண்ணுக்குப் புலப்படும். இவையிரண்டும் ஒன்றையொன்று மறைக்கும்படியாகக் கண்ணை வைத்துக்கொண்டு, அவற்றோடு ஒரே நேர்கோட்டில் இருக்கும்படி மா, பா என்னுமிரண்டு குண்டூசிகளைக் குத்தி நிறுத்தவும். மா, பா என்பவற்றின் இடைத் தூரமும் குறைந்தது 10 செ. மீட்டராவது இருக்கவேண்டும். ப, ம என்னும் ஊசிகளின் படிவங்களின் தலைகளும், மா, பா என்பவற்றின் தலைகளும் ஒரே நேர்கோட்டில்



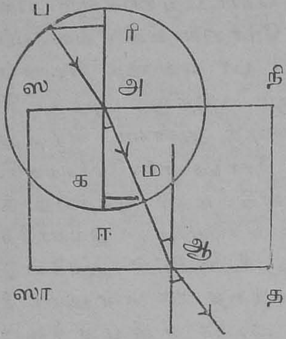
படம் 248

நிற்கும்படி வைத்தால் ப, ம, மா, பா என்னும் நான்கு ஊசித்தலைகளின் மட்டமும் ஒன்ருயிருப்பதைக் காணலாகும். மற்றும் இரண்டு கோட்டமுகங்களும் பலகைக்கு லம்பமாக நிற்பதால், மோதுவாயிலில் வரையப்பட்ட லம்பங்களும், ப ம, மா பா என்னும் கிரணங்களும் ஒரே தளத்தன வாகும். இதனுல் முதல்விதி சரிபார்க்கப்பட்டது. கண்ணுடித் துண்டை எடுத்து விட்டு ப ம, மா பா என்னும் கோடுகளைச் சேர்க்கவும். ப ம-வை நீட்டிவிட்டு அக்கோடு முதல் முகத்தை க என்ற புள்ளியிலே சந்திக்கச் செய்யவும். இவ்வாறே பா மா என்னும் கோட்டை நீட்டிவிட்டு அக்கோடு முறையே இரண்டாவது முகத்தை கா என்னுமிடத்திலே சந்திக்கச் செய்யவும். க, கா என்பவற்றை சேர்க்கவும். ப ம என்பது மோதுங்கிரணமும், மா பா என்பது வெளிப்படும் கிரணமும் ஆகும். எனவே க, கா என்பதே கண்ணுடியினுள்ளே ஒளியின் வழியாகும் என்பது தெளிவு. க, கா என்னுமிடங்களிலே லம்பங்களை வரையவும். முதல் முகத்திலே மோதுங் கோணம் ப க ரீ ஆகும். இதை (i) என்று குறிப்பிடவும். இதிலே கோட்டக்கோணம் ரீ க கா ஆகும். இதை r என்று குறிப்பிடவும். இதே போன்று இரண்டாவது முகத்திலே மோதுங்கோணத்தையும், கோட்டக்கோணத்தையும் முறையே i, e என்று குறிப்பிடவும். கோட்டப்பான்மையை இரண்டு முறைகளால் காணலாகும்.

(1) i, r என்னும் கோணங்களை அளந்து வாய்பாடுகளின் உதவியால் $\sin i$, $\sin r$ என்பவற்றைக் கண்டு $\frac{\sin i}{\sin r}$ என்னும் தகவைக் கணக்கிடவும்.

(2) அல்லது அ வை மையமாகவும் அ ஆ-வுக்குக் குறைந்ததொரு நீளத்தை ஆரமாகவும் கொண்ட

தொரு வட்டத்தை வரையவும் (படம் 249). இது மோதுங் கிரணத்தையும் கோட்டிய கிரணத்தையும் ப, ம என்னுமிடங்களில் வெட்டுவதாகக் கொள்வோம். ப, ம என்னும் புள்ளிகளிலிருந்து இ அ ஈ என்ற லம்பத்திற்கு இரண்டு லம்பங்கள் வரையவும். அவை முறையே லம்பத்தை ரி, க என்னுமிடங்களில் வெட்டுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது



படம் 249

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\text{பரி}/\text{பஅ}}{\text{மக}/\text{அம}} = \frac{\text{பரி}}{\text{மக}} \text{ ஆகும்.}$$

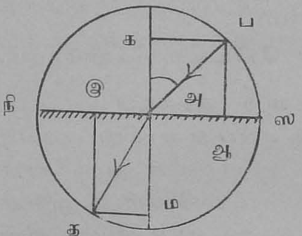
பரி, மக என்பவற்றை நன்ருக அளவிட்டு மேற்கண்ட தகவை நிர்ணயிக்கவும். இவ்வாறே இரண்டாவது முகத்திலேற்படும் கோட்டத்திலேயும் $\frac{\sin i}{\sin e}$ என்னும் தகவைக் காணலாம்.

மோதுங் கோணத்தினளவைப் பல படியாக மாற்றி மேற்கண்ட பரிசோதனைகளைச் செய்தாலும், $\frac{\sin i}{\sin r}$ என்னும் தகவின் மதிப்பு சீராகவே இருப்பதும், இவ்வாறே $\frac{\sin i}{\sin e}$ என்னும் தகவின் மதிப்பும் சீராகவே இருப்பதும் தெரியவரும். முன்னையது காற்ருேடு ஒப்பிட்ட கண்ணுடியின் கோட்டப்பான்மையாகும். பின்னையது கண்ணுடியோடு ஒப்பிட்ட காற்றின் கோட்டப்பான்மையாகும். இவற்றை முறையே $_a\mu_g$ என்றும் $_g\mu_a$ என்றும்

குறிப்பிடலாம். மேலும் இவையிரண்டும் முறைமாறலாய் (reciprocal) இருப்பதும் தெரியவரும். அதாவது $_a\mu_g = \frac{1}{_g\mu_a}$ ஆகும். இது எவ்வாறு நேர்ந்தது என்பதைப் பின்பு கண்டோம்.

கோட்டியகிரணம் செல்லும் பாதையை வடிவியல் முறையால் நிர்ணயித்தல் :—இதற்குப் பல வழிகள் உண்டு. அவற்றிலே இரண்டை இப்போது காண்போம்.

(1) (படம் 250). ப அ என்னும் மோதுங் கிரணம் அ என்னுமிடத்திலே மோதுவதாகக் கொள்வோம். ஸ நி என்பது வரம்புப்பரப்பு என்று கொள்வோம். இவ்விரண்டு யானங்களும் முறையே காற்றும் கண்ணடியும் என்றும், கண்ணடியின் கோட்டப் பான்மை $\frac{3}{2}$ என்றும் கொள்வோம். அ என்பதை மையமாகவும், ஏதேனுமொரு ஆரத்தையும் கொண்டு ஸ ப நி த என்னுமொரு வட்டத்தை வரையவும். மோதுங்கிரணமாகிய ப அ இதை ப-விலே குறுக்கிடுவதாகக் கொள்வோம். வரம்புப்பரப்புக்கு லம்பமாக ப ஆ என்னும் கோட்டை வரையவும். அ ஆ-வை மூன்று சம பாகங்களாக்கவும். அ நி என்னும் பகுதியிலே இ என்னுமொரு புள்ளியை எடுத்துக்கொள்ளவும். இதிலே அ இ என்பது அ ஆ-வின் இரண்டு பிரிவுகளுக்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும் அல்லது பொதுவாக அ நி-யிலே இ என்பது அ இ $= \frac{\text{அ ஆ}}{\mu}$



படம் 250

ஆகும்படியானதொரு புள்ளி என்று கூறலாம். இரண்டாவது யானத்திலே வரம்புப் பரப்புக்கு லம்பமாக இ த என்னும் கோட்டை வரைந்து, அது வட்டத்தை த-விலே குறுக்கிடும்படியாகச் செய்யவும். அ த வைச் சேர்த்தால் அதுவே கோட்டிய கிரணமாகும். கோட்டப்பான்மையின் இலக்கணப்படி $\frac{\sin \text{க அ ப}}{\sin \text{ம அ த}}$ என்பது μ வுக்குச் சமமாகவேண்டும்.

கோணம் க அ ப = கோணம் அ ப ஆ. மேலும்

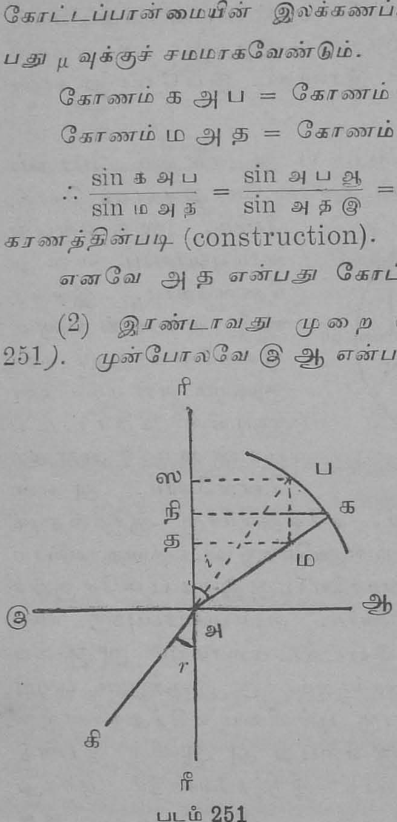
கோணம் ம அ த = கோணம் அ த இ.

$$\therefore \frac{\sin \text{க அ ப}}{\sin \text{ம அ த}} = \frac{\sin \text{அ ப ஆ}}{\sin \text{அ த இ}} = \frac{\text{அ ஆ}/\text{அ ப}}{\text{அ இ}/\text{அ த}} = \frac{\text{அ ஆ}}{\text{அ இ}}$$

கரணத்தின்படி (construction).

எனவே அ த என்பது கோட்டிய கிரணமாகும்.

(2) இரண்டாவது முறை வருமாறு:—(படம் 251). முன்போலவே இ ஆ என்பது வரம்புப் பரப்பு என்று கொள்வோம். க அ என்பது மோதுங் கிரணமென்று கொள்வோம். அ-விலிருந்து அ க-வின் மீது ஒரு அலகு தூரம் விலகி ம என்ற புள்ளியை இடவும். மேலும் அ க-வை இதே அலகிலே கோட்டப் பான்மைக்கு எண்ணளவிலே சமமாகும்படி செய்யவும். அ-வை மைய

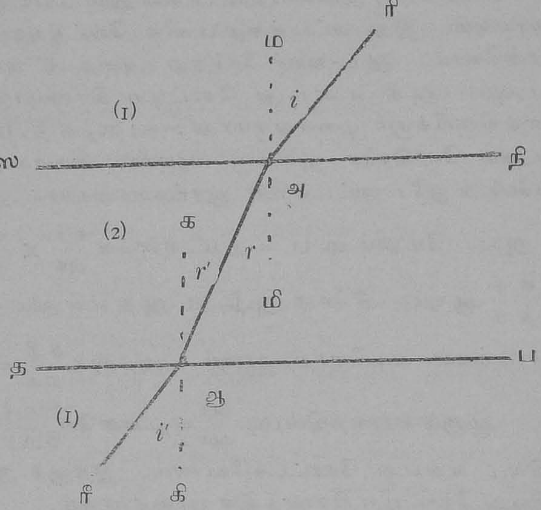


படம் 251

மாகவும், அ க-வை ஆரமாகவும் கொண்டதொரு வட்டத் துண்டை வரையவும். ம-விலிருந்து அ ரி என்னும் லம்பத்திற்கு இணையாக ம ப என்னும் கோட்டை வரையவும். இது வட்டத்தை ப வில் வெட்டுவதாகக் கொள்வோம். அ ப-வைச் சேர்த்து அதை கி வரை நீட்டவும். அ கி என்பது கோட்டிய கிரணமாகும். இதை நிரூபிக்கும் முறை வருமாறு :—ப ஸ, க நி, ம த என்னும் கோடுகளை அ ரி க்கு லம்பமாக வரையவும். இப்போது ஒரே வட்டத்தின் ஆரங்களாகையால் அ க $=$ அ ப. மேலும் ஸ ப $=$ த ம. எனவே $\frac{\text{க நி}}{\text{அ க}} \times \frac{\text{அ ப}}{\text{ஸ ப}} = \frac{\text{க நி}}{\text{த ம}}$ ஆகும். நிற்க க அ நி, ம அ த என்னும் முக்கோணங்கள் வடிவொத்ததாகும். அதனுல் $\frac{\text{க நி}}{\text{த ம}} = \frac{\text{அ க}}{\text{அ ம}}$. ஆனுல் காரணத்தின்படி $\frac{\text{அ க}}{\text{அ ம}} = \mu$. எனவே $\frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r} =$ இதில் r என்பது கோட்டக்கோணம். இதனுல் அ கி என்பது கோட்டிய கிரணத்தின் பாதையாகும்.

இணையான முகங்களையுடைய கண்ணுடிப் பலகையின் வழியாக ஏற்படும் ஒளிக்கோட்டம் :—(படம் 252). ஒளிக்கோட்ட விதிகளைச் சரிபார்ப்பதற்கான பரிசோதனையிலே, எப்படி ஒரு கண்ணுடிப் பலகையிலே ஒரு மோதும் கிரணத்திற்குரிய கோட்டியகிரணத்தையும், வெளிப்படுகிரணத்தையும் நிர்ணயிப்பது என்று கண்டோம். அதிலே சற்று கவனித்தால் மோதும் கிரணமும் வெளிப்படும் கிரணமும் இணையாக விருப்பது தெரிய வரும். அதாவது படத்திலே ஆ ரீ என்பது ரி அ விற்கு இணையாக இருக்கும். கண்ணுடிப் பலகையை நடுவிலே இட்டதனுல் கிரணம் சற்றே புடைபெயர்ந்ததேயொழிய அதன் திசையிலே யாதொரு மாறுதலும் ஏற்படவில்லை.

நாம் பலகையைச் சூழ்ந்துள்ள செறிவு குறைந்த யானத்தை (1) என்றும், பலகையாகிய செறிவு மிகுந்த



படம் 252

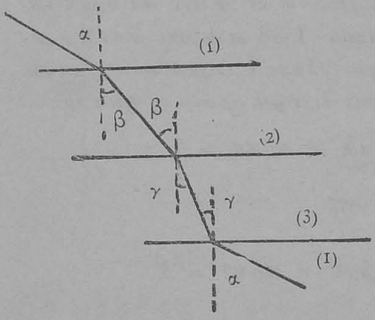
யானத்தை (2) என்றும் குறிப்பிடுவோம். இதனால் முதல் யானத்திலிருந்து இரண்டாவது யானத்திற்குப் போகும் கோட்டப்பான்மையை $_1\mu_2$ என்றும், இரண்டாவதிலிருந்து முதல் யானத்திற்குப் போகும் கோட்டப்பான்மையை $_2\mu_1$ என்றும் குறிப்பிடுவோம். இப்போது $_1\mu_2 = \frac{\sin i}{\sin r} = {_2\mu_1} = \frac{\sin r'}{\sin i'}$. பலகையின் முகங்கள் இணையாக விருப்பதாலும் ம அ மி, க ஆ கி என்பன இவற்றின் லம்பங்கள் ஆகையினாலும் r என்னும் கோணம் r' என்னும் கோணத்திற்குச் சமம். மேலும் ரி அ, ஆ ரீ என்னும் கோடுகள் இணையானவை என்று பரிசோதனையால் தெரிகிறது. இதனால் i என்ற கோண

மும் i' என்ற கோணமும் சமமாகும். எனவே $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin i}{\sin r'}$

$$\therefore {}_1\mu_2 = \frac{1}{{}_2\mu_1} \text{ அல்லது}$$

${}_1\mu_2 \times {}_2\mu_1 = 1$. இதனுல் இவ்விரண்டு கோட்டப் பான்மைகளும் முறை மாறலாய் இருக்குமென்று அறிகிறேம்.

இரண்டு இணையான பலகைகளை எடுத்துக்கொள்வோம். (படம் 253). படத்தில் கண்டபடி ஒரு ஒளிக் கதிர் 1 என்னும் யானத்திலிருந்து, இணையான முகங்களையுடைய 2, 3 என்னும் யானங்களின் வழியாகச் சென்று, மறுபடியும் 1 என்னும் யானத்தில் வெளிப்படுவதாகக் கொள்வோம். 1 என்பது காற்று என்றும், 2, 3 என்பன முறையே தண்ணீரும் கண்ணுடியும் என்றும் நாம் கொண்டாலும் கொள்ளலாம். இந்த மூன்று பரப்புகளின் லம்பங்களும் இணையானவையாகும். 2, 3 என்னும் யானங்களிலே கோட்டக்கோணங்கள் முறையே β, γ என்று கொள்வோம். முன்னுல் கூறியபடியே இறுதியில் வெளிப்படும் ஒளிக்கிரணம், மோதுங்கிரணத்திற்கு இணையாக இருப்பதாகப் பரிசோதனையால் தெரியவருகிறது. எனவே மோதுங்கோணம் α ஆயின், வெளிப்படு



படம் 253

கோணமும் α ஆகும். ${}_1\mu_2$, ${}_2\mu_3$, ${}_3\mu_1$ என்பன முறையே ஒளிக்கிரணம் செல்லும்போது ஏற்படும் கோட்டப் பான்மைகள் என்று கொள்வோம். இப்போது

${}_1\mu_2 = \dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta}$, ${}_2\mu_3 = \dfrac{\sin\beta}{\sin\gamma}$, ${}_3\mu_1 = \dfrac{\sin\gamma}{\sin\alpha}$. இவற்றையெல்லாம் ஒன்றுசேர்த்துப் பெருக்கினல்

$$ {}_1\mu_2 \times {}_2\mu_3 \times {}_3\mu_1 = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}.\frac{\sin\beta}{\sin\gamma}.\frac{\sin\gamma}{\sin\alpha} = 1. $$

இவ்வாறே பலவேறு கோட்டப்பான்மைகளையுடைய பலவேறு இணைப்பலகைகளைச் சேர்த்துவைத்தபோதும் ${}_1\mu_2.\ {}_2\mu_3.\ {}_3\mu_4 \ldots\ldots\ldots {}_n\mu_1 = 1$ என்று இவ்வாறே காட்டலாகும். இந்த வாய்பாடு ஒளிக்கோட்டங்களைப் பற்றிய கணக்குகளைப் போடுவதற்கு மிகவும் உதவியாய் இருக்கும். உதாரணமாக காற்றுக்கும் கண்ணுடிக்கும் ஒளிக்கோட்டப்பான்மை 1·5 என்றும், காற்றுக்கும் நீருக்கும் கோட்டப்பான்மை 1·33 என்றும் கொடுத்து, நீருக்கும் கண்ணுடிக்கும் கோட்டப்பான்மை காண வேண்டுமானல் கணக்கைப் போடும் முறை வருமாறு :—

முதன் முதலில் காμக $\times$ கμகா $= 1$

$\therefore$ கμகா $= \dfrac{1}{1\cdot5} = \cdot67.$

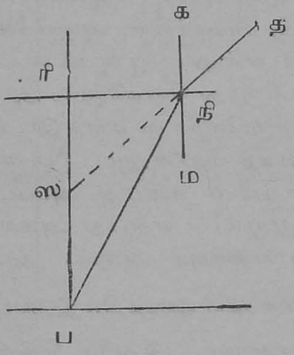
மேலும் காμநீ $\times$ நீμக $\times$ கμகா $= 1$

எனவே நீμக $= \dfrac{1}{\cdot67 \times 1\cdot33} = 1\cdot13.$

அல்லது நீருக்கும் கண்ணுடிக்கும் கோட்டப் பான்மை 1·13 ஆகும்.

ஒளிக்கோட்டத்தால் ஏற்பட்ட ஒரு புள்ளியின் படிவம் :—இதுவரை நாம் ஒற்றைக்கிரணத்தின் கோட்டத்

தைப்பற்றியே விசாரித்தோம். சமதளப் பரப்பில் ஒளி பிரதிபலிக்கும்போது, முதலில் ஒரு புள்ளியிலிருந்து விரிந்து வெளிப்பட்டதொரு ஒளிக்கற்றை, பிரதிபலித்த பிறகும் முதற் புள்ளியின் படிவமான மற்றொரு புள்ளியினின்று விரிந்துவருவதாகத் தோன்றுகிறது. இதைப்போன்றதொரு முடிவு, ஒளிக்கோட்டத்திலும் உண்டா என்பதை நாம் விசாரிக்கவேண்டும். இதற்கு நாம் ஒரு சிறு ஒளிக்கற்றையை எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். மேலும் ஒரு சமதளப் பரப்பிலே ஒளிக் கோட்டத்தால் ஏற்பட்ட படிவத்தைக் காணும்போது, நாம் எல்லா கிரணங்களும் செங்குத்தாகப் பரப்பின் மீது விழும்படியான ஒரு குறுகிய கற்றையே எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். (படம் 254). ஒளிக்கோட்டம் செய்யக்கூடிய ஒரு பதார்த் தத்தாலாகிய படலத்தின் அடியிலுள்ள ப என்னும் புள்ளியிலிருந்து ஒளிக்கிரணங்கள் விரிந்துவருவதாகக் கொள்வோம். மேல்பரப் பின்மீது லம்பமாகத் தாக்கும் பரி என்னும் கிரணம் கோட்டமடையாது வெளியே செல்லும். பரி-க்கு



படம் 254

மிக அருகிலுள்ள பநி என்னும் வேறொரு கிரணத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். இதுவும் அதிகமாய்க் கோட்டமடையாது. வெளிவந்த பிறகு அதன் போக்கு நித என்றும், படலத்தின் கோட்டப்பான்மை μ என்றும் கொள்வோம். ப என்னும் புள்ளியின் படிவம், இக்கோட்டிய கிரணத்தின் திசையிலும் நிற்கும். கணக்கிலே கண்டபடி கோட்டிய கிரணங்களெல்லாம்

விரிந்தே செல்லுவதால் இதிலே மெய்ப்படிவம் ஏற்பட முடியாது. நித என்னும் கிரணத்தைப் பின்னோக்கி நீட்டி இது பரி என்னும் கிரணத்தை ஸ என்னுமிடத்தில் குறுக்கிடுவதாகக் கொள்வோம்.

$$\mu = \frac{\sin \text{கநித}}{\sin \text{பநிம}} = \frac{\sin \text{ரிஸநி}}{\sin \text{ரிபநி}} = \frac{\text{ரிநி}/\text{ஸநி}}{\text{ரிநி}/\text{பநி}} = \frac{\text{பநி}}{\text{ஸநி}}$$

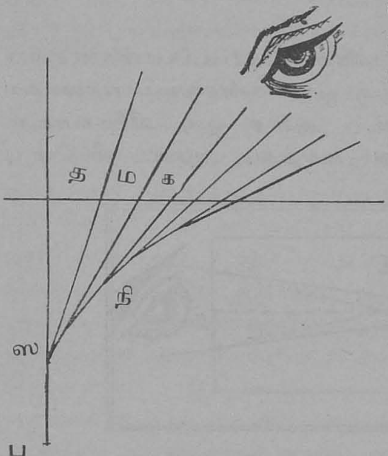
ரிபநி என்னும் கோணம் மிகச் சிறியதானால் (மிகக் குறுகிய கற்றைகள் செங்குத்தாக மோதும்போது இது உண்மையாகும்)

$\frac{\text{பநி}}{\text{ஸநி}} = \frac{\text{ரிப}}{\text{ரிஸ}}$; இதனால் μ ரிஸ = ரிப. எனவே, ஸ என்னும் புள்ளி நிர்ணயிக்கப்பட்டது. ஆகையால் ஒளிக்கோட்டம் செய்யும் ஒரு படலத்தின் அடியிலே இருக்கும் ப என்னும் புள்ளியை நேராக மேலிருந்து நோக்கினால், அப் புள்ளி அதற்கு மேலே ஸ என்ற இடத்தில் நிற்பதாகத் தோன்றும். (படம் 255). மற்றும் d என்பது அப்படலத்தின் ஆழமும், μ என்பது அதன் கோட்டப்பான்மையும் ஆனால், அப் புள்ளி $\frac{d}{\mu}$ என்னும் ஆழத்தில் இருப்பதாகத் தோன்றும். இதுவே தெளிந்த நீருடைய நீர் நிலைகளின் ஆழம் குறைவாகத் தோன்றுவதற்குக் காரணம். இவ்வாறு கண்ணுக்குப் புலப்படும் தோற்றமான ஆழத்தைப் 'பொய்யாழம்' என்னலாம். பொய்யாழத்திற்கும் மெய்யாழத்திற்கும் உள்ள உறவு வருமாறு:—

படம் 255

$$\mu = \frac{\text{மெய்யாழம்}}{\text{பொய்யாழம்}}.$$

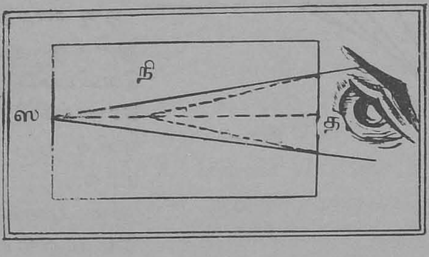
ஒரு சமதளப் பரப்பிலே ஒளிக்கோட்டத்தால் ஏற்படும் பிறைக்கோடு (Caustic curve):—ஸ-விலே ஏற்படும் ப-வின் படிவம் விளக்கமாயும் தெளிவாயும் இருக்கவேண்டுமானல், ஒளிக்கற்றை விரியும் கோணம் சிறியதாயிருக்கவேண்டுமென்றும், அது பரப்பின் மீது செங்குத்தாக மோதவேண்டுமென்றும் கண்டோம். இது செங்குத்தாக இராதபோது என்ன நேருமென்பதைப் படம் 256 காட்டுகிறது. ப என்பது 1·5 கோட்டப்பான்மை கொண்ட கண்ணடியினுள்ளிருக்கும் ஒரு ஊற்றுக்கண். இதிலிருந்துவிரிந்து வெளிப்படும் ஒளிக்கிரணங்கள் கண்ணடியின் பரப்பை த, ம, க.......... என்னும் புள்ளிகளிலே மோதுகின்றன. அங்கே அவை கோட்டமடைகின்றன. படத்தில் குழப்பம் ஏற்படாதிருப்பதற்காக கண்ணடியினுள்ளே கிரணங்களின் பாதைகள் காட்டப்படவில்லை. கோட்டிய கிரணங்களைப் பின்னேக்கி நீட்டிய கோடுகள் மட்டும் காணப்படுகின்றன. இவையெல்லாம் ஸ என்னும் ஒரே புள்ளியிலே சந்திப்பதில்லை. ஆனல் இரண்டிரண்டு அண்டைக் கிரணங்கள் மட்டும் ஒரு வளைவு கோட்டின்மீது சந்திக்கின்றன. இக்கோட்டைப் ‘பிறை’ என்று சொல்லுவார்கள். ப-விலிருந்து புறப்



படம் 256

படும் ஒவ்வொரு கிரணமும் கோட்டிய பின்னர் இப் பிறைக்குத் தொடுவரை (Tangent) ஆகும். படத்தில் கண்டபடி ஒருவர் ப-வை ஒருபுறமாய்ச் சாய்ந்து பார்த் தால், நி என்ற இடத்திலே ஒரு படிவம் தெரியும். ஆனால் இப்படிவம் நேரே செங்குத்தாகப் பார்க்கும் போது புலப்படும் ஸ என்னும் படிவம்போல நன்றாகத் தெளிவாய் இராது. மேலும் நி, ஸ-வைவிட பரப்புக்கு அருகிலே இருக்கும்.

படிவத்தைக் கண்டு கோட்டப்பான்மையைக் கணக்கிடல் :—இதற்கு ஒரு கண்ணாடிப் பலகையை எடுத்துக்கொள்வோம். அதை ஒரு விரிக்கப்பட்ட வெள்ளைத்தாளின்மீது வைத்து, அதன் விளிம்பு



படம் 257

வரையை வரைந்துகொள்ளவும். கண்ணாடிப் பலகை யின் ஓரத்தை ஒட்டி ஸ என்ற இடத்திலே ஒரு குண் டூசியைக் குத்தி நிறுத்தவும். (படம் 257). இதற்கு நேரெதிரான முகத்தின் வழியாக அம்முகத்திற்குச் செங்குத்தான திசையிலே இக்குண்டூசியைப் பார்க்க வும். இப்போது குண்டூசி நி என்னுமோரிடத்திலே இருப்பதாகத் தோன்றும். மற்றொரு நீண்ட குண் டூசியை இப்பலகையின்மீது செங்குத்தாக நிறுத்திப் பிடித்துக்கொண்டு, இந்தப் படிவத்தின் நிலையைப் புடை

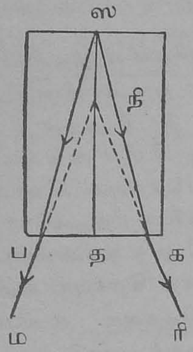
பெயர்ச்சி முறையினல் கண்டுபிடிக்கவும். நி த, ஸ த என்னும் தூரங்களை அளந்து $\frac{\text{ஸத}}{\text{நித}} = \mu$ வைக் கணக்கிடலாம்.

இதை ஒரு இயங்கும் அணுதரிசனியினுதவியால் பின்னும் திருத்தமாகக் காணலாம். ஒரு தாளின் மீது ஒரு சிறு கருப்புமைப் பொட்டை இட்டு அதன் மீது இயங்கும் அணுதரிசனியை நன்கு நிமிர்வையாக நிறுத்தி மைப் பொட்டைக் குவியப்படுத்தவும். வெர்னியரின் x_1 என்னும் வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இப்போது இப்பொட்டின்மீது ஒரு கண்ணுடிப் பலகையை வைத்து அதன் வழியாகத் தெரியும் மைப் பொட்டின் படிவத்தைக் குவியப்படுத்தவும். மறுபடியும் வெர்னியரின் வாசகமாகிய x_2 வைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இப்போது கண்ணுடிப் பலகையின் மேற்பரப்பின்மீது ஒரு மைப்பொட்டையிட்டு, அதையும் அணுதரிசனியினல் குவியப்படுத்தி, மறுபடியும் வெர்னியர் வாசகமாகிய x_3 யைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். இதிலே $(x_1 - x_3)$ என்பது கண்ணுடிப் பலகையின் உண்மையான ஆழம் ஆகும். $(x_2 - x_3)$ என்பது அதன் பொய் ஆழம் ஆகும். எனவே, கண்ணுடியின் கோட்டப்பான்மை

$$\mu = \frac{x_1 - x_3}{x_2 - x_3} \text{ ஆகும்.}$$

ஒரு சமதளப் பரப்பில் ஒளிக்கோட்டத்தினுலேற்படும் ஒரு புள்ளியின் படிவத்தை கிரணங்கள் வரைந்து காண :—ஒரு கண்ணுடிப் பலகையை மரப் பலகையின் மேல் விரிக்கப்பட்டதொரு தாளின்மீது வைத்து, அதன் விளிம்பு வரையை வரைந்துகொள்ளவும். (படம் 258). இப்பலகையின் ஒரு முகத்தை

யொட்டி ஸ என்னும் ஒரு குண்டூசியைக் குத்தி நிறுத்தி வைத்து, அதற்கு நேரெதிரான முகத்தின் வழியாகக் குண்டூசியைப் பார்த்து, ப, ம, க, ரி, என்னும் குண்டூசிகளைக் கொண்டு இரண்டு வெளிப்படு கிரணங்களை வரையவும். இவ்விரண்டு கிரணங்களும் லம்பத்திற்கு இருபுறங்களில் இருக்க வேண்டும். மற்றும் இவற்றிற்கும் லம்பத்திற்கு மிடைப்பட்ட கோணங்கள் கூடியவரை சிறியதாய் இருக்கவேண்டும். பலகையை எடுத்துவிட்டு ஸ த என்னும் லம்பத்தை வரைந்து, ம ப, ரி க என்னும் கிரணங்களை நி என்னுமிடத்திலே சந்திக்கும்படியாக

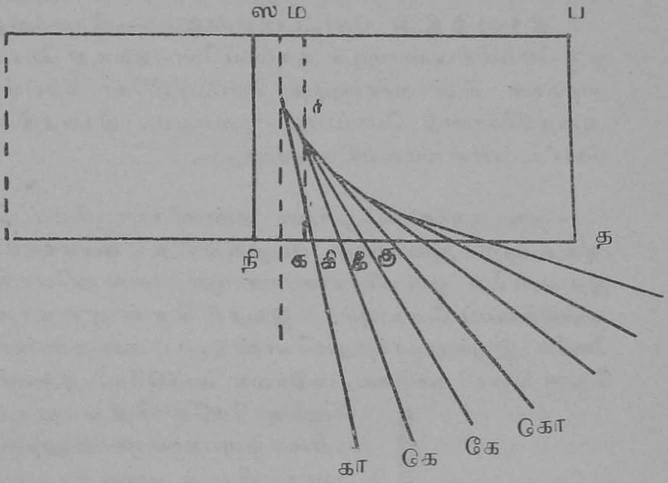


படம் 258

நீட்டிவிடவும். இந்த நி என்னும் புள்ளி ஸ த என்னும் லம்பத்தின்மீது நிற்கவேண்டும். ஸ த, நி த என்னும் தூரங்களை அளக்கவும். இப்போது $\mu = \frac{ஸத}{நித}$ ஆகும்.

பிறை வளைவை வரைதல் :—ஒரு படப் பலகையின்மீது விரித்துத் தைக்கப்பட்டதொரு தாளின்மீது ஒரு கண்ணாடிப் பலகையை வைத்து, அதன் விளிம்பு வரையை எடுத்துக்கொள்ளவும். ஒரு மூலைக்கருகே சுமார் 2 செ. மீ. தூரத்திலே பலகையின் ஒரு முகத்தை ஒட்டி ம என்னுமொரு குண்டூசியைக் குத்தி நிறுத்தவும். (படம் 259). எதிர்த்த முகத்தையொட்டி க, கி, கீ, கு என்ற புள்ளிகளையிடவும். இவை ஒன்றையொன்று தொடர்ந்து சுமார் $\frac{1}{2}$ செ. மீ. தூரத்தில் இருக்கவேண்டும். இவற்றிலே ஒரு புள்ளியிலே ஒரு குண்டூசியைக் குத்தி நிறுத்தவும். இக்குண்டூசியும் ம

வின் படிவமும் ஒன்றையொன்று மறைக்கும்படி வைத்து அவற்றோடு ஒரே நேர் கோட்டிலிருக்கும்படி கா என்னும் குண்டூசியைக் குத்தி நிறுத்தவும். இவ்வாறே கி, கீ......என்னும் ஊசிகளோடு ம-வின் படிவத்தை



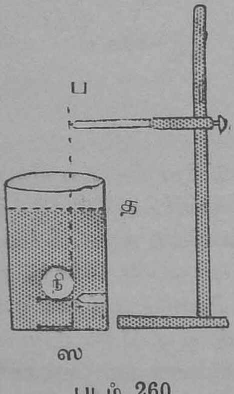
படம் 259

ஒன்று சேர வைத்து, அவ்வற்றோடு நேர் கோட்டிலிருக்கும்படி கே, கே......என்னும் குண்டூசிகளைக் குத்தி நிறுத்தவும். பலகையை எடுத்து விட்டு க கா, கி கே, கீ கே......என்னும் ஜதையான புள்ளிகளைச் சேர்த்து அடுத்தடுத்து ஒன்றையொன்று தொடும் புள்ளிகளைக் கண்டு அவற்றை ஒன்றுசேர்க்கும் ஒரு கோட்டை வரையவும். க கா, கி கே, கீ கே...என்னும் எல்லாக் கோடுகளும் இக்கோட்டிற்கு தொடுவரைகளாக இருக்கும். இக்கோடே 'பிறைக்கோடு' ஆகும். லம்பத்திற்கு இருபுறமும் சம சீரான இரண்டு கிளைகள் இப்

பிறையில் உண்டு. இதன் மற்ருெரு கிளையை வரைவதற்குக் கண்ணாடிப் பலகையை மறுபுறத்தில் படத்திலே புள்ளியிட்டுக் காட்டிய நிலைக்கு நகர்த்தி வைக்கவேண்டியிருக்கும்.

திரவத்தின் கோட்டப்பான்மை:—திரவத்தை ஒரு மெல்லிய கண்ணாடிக் குவளையிலோ அல்லது நேரக வடிவான சிறு கண்ணாடித் தொட்டியிலோ நிரப்பி, அதைக்கொண்டு பொய்யாழ முறைப்படி திரவத்தின் கோட்டப்பான்மையைக் காணலாகும்.

ஒரு குவளையை முற்றும் தண்ணீரால் நிரப்பி அதை ஒரு அசையாத பீடத்தின்மீது வைக்கவும், இதனுள்ளே ஒரு பிரகாசமான (ஸ) என்னுமொரு குண்டூசியைப் போடவும். இதைச் செங்குத்தாக மேலே இருந்து பார்த்துக்கொண்டு, (ப) என்னும் மற்ருெரு நீண்ட ஊசியை, படுக்கை வாக்கிலே, தண்ணீருக்கு மேலே சிறிது தூரத்தில் ஒரு தாங்குகாலினுதவியால் பிடித்துவைக்கவும். இந்த நீண்ட ஊசியின் பிரதிபலிப்புப் படிவம் தண்ணீரிலே தெரியும். இப்படிவமும் நீரினுள்ளே கிடக்கும் ஊசியின் கோட்டப் படிவமும், ஒரு இடத்தில் நிற்கும்படியாகப் புடைபெயர்ச்சி முறையினுலே கண்டு, நீண்ட ஊசியின் நிலையைச் சரிப்படுத்தி வைக்கவும். இப்போது த என்னும் நீர் மட்டத்திற்கு மேலே ப-வின் உயரமும், நீர் மட்டத்தின் கீழே அதன் படிவத்தின் ஆழமும் சமமாகும்.



படம் 260

(படம் 260). ஆனால் ப-வின் படிவமும் ஸ-வினது கோட்டப் படிவத்தின் ஆழமும் சமமாகும். எனவே நீர் மட்டத்திற்கு மேலே ப-வின் உயரத்தை அளந்தால் அதுவே பொய்யாழமாகும். நிற்க, குவளையிலுள்ள தண்ணீரின் மெய்யாழத்தையும் ஒரு அளவியால் அளந்துகொள்ளவும்.

எனவே தண்ணீரின் கோட்டப்பான்மை

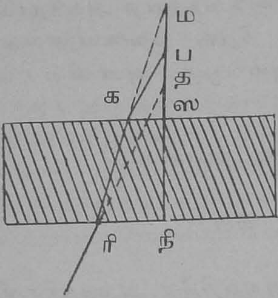
$$= \frac{\text{மெய்யாழம் தஸ}}{\text{பொய்யாழம் தப}} \text{ ஆகும்.}$$

கண்ணுடிப் பலகை விஷயத்திலே அணுதரிசனியைக்கொண்டு மெய்யாழம், பொய்யாழம் கண்டது போலவே குவளையிலுள்ள தண்ணீருக்கும் மெய்யாழம், பொய்யாழம் கண்டு அதன் கோட்டப்பான்மையைக் கணக்கிடலாம். முதலில் வெறுங் குவளையினுள்ளே, அதனடியில் ஒரு கீறல் அடையாளமிட்டு, அணுதரிசனியை அதன்மீது குவியச்செய்து (x_1) என்னும் வெர்னியர் வாசகத்தைக் காணவும். இப்போது குவளையில் தண்ணீரை ஓரளவுக்கு நிரப்பி, மறுபடியும் அதே அடையாளக் கீறலைக் குவியப்படுத்தி, இப்போது வெர்னியர் வாசகமாகிய (x_2) வைக் காணவும். நீர் மட்டத்தின் மீது சன்னமான மரத்தூளைத் தூவி, அவற்றில் ஒரு துகளை அணுதரிசனியினுல் குவியப்படுத்தி, வெர்னியர் வாசகமாகிய x_3 யைக் காணவும். இப்போது தண்ணீரின் கோட்டப்பான்மை

$$\mu = \frac{\text{மெய்யாழம்}}{\text{பொய்யாழம்}} = \frac{x_3 - x_1}{x_2 - x_1} \text{ ஆகும்.}$$

ஒரு கண்ணுடிப் பலகையில் ஒளிக்கோட்டத்தினுலேற்பட்ட ஒரு புள்ளியின் படிவம் :—(படம் 261). ப என்பது அப்புள்ளியென்றும் ஸ நி ரி க என்பது கண்ணு

டிப் பலகையென்றும் கொள்வோம். ம என்பது முதல் முகத்திலேற்பட்ட ப-வின் கோட்டப்படிவம் என்று வைத்துக் கொள்வோம். ஸ ம $= \mu$. ஸ ப. பலகையினுட் செல்லும் கிரணங்கள் ம-விலிருந்து விரிந்து வெளிப்பட்டு இரண்டாவது முகத்திலே தாக்குகின்றன. பிறகு அவை இரண்டாவது முகத்திலே ம-வின் கோட்டப் படிவமாகிய த-விலிருந்து விரிந்து வருவதாகத் தோன்றுகின்றன. இப்போது நி த $= \frac{1}{\mu}$ நி ம.



படம் 261

அல்லது நி ம $= \mu$ நி த ஆகும்.

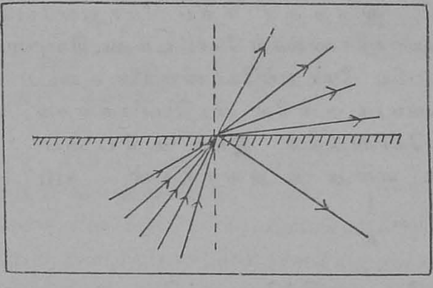
பலகையின் கனம் a ஆனால் நி ம = ஸ ம $+ a$.

$\therefore \mu$ நி த $= \mu$ ஸ ப $+ a$; அல்லது நி த $=$ ஸ ப $+ \frac{a}{\mu}$.

ஸ த = நி த $- a =$ ஸ ப $+ \frac{a}{\mu} - a =$ ஸ ப $- \frac{a(\mu-1)}{\mu}$ ஆகும்.

எனவே, பலகையின் மூலமாகக் காணப்படும் பொய்ப் படிவம் த உண்மையான பொருளாகிய ப-வை விட அருகே இருக்கும். பொருளுக்கும் படிவத்துக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் $\frac{a(\mu - 1)}{\mu}$ ஆகும். இந்த வாய்பாடு பலகைக்கும் பொருளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தைச் சார்ந்தது அல்ல. எனவே பொருள் எவ்வளவு தூரத்திலிருப்பினும் பொருளுக்கும் படிவத்துக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் ஒன்றாகவே இருக்கும்.

பூரண அந்தரப் பிரதிபலனமும் அவதிக் கோணமும் (Total internal reflection and critical angle) :— ஒரு ஒளிக்கிரணம் செறிவு குறைந்த ஒரு யானத்திலிருந்து செறிவு மிகுந்ததொரு யானத்திற்குச் செல்லும் போது, அது லம்பத்தை நோக்கிக் கோட்டமடைகிறது என்று கண்டோம். இதனால் மோதுங்கோணத்தைவிட கோட்டக்கோணம் சிறியதாகவே இருக்கும். எனவே, எந்த ஒரு மோதுங்கோணத்திற்கும் அதற்குரியதான ஒரு கோட்டக் கோணத்தை எளிதிலே கண்டுவிடலாம். ஆனால் ஒளிக்கிரணம் செறிவு மிகுந்த யானத்தினின்று, செறிவு குறைந்த யானத்திற்குச் செல்லும்போது அது லம்பத்தினின்று விலகிக்கோட்டமடைகிறது. இதனால் மோதுங்கோணத்தைவிடக் கோட்டக்கோணம் பெரிதாகவே இருக்கும். ஆகையால் மோதுங்கோணம் பெரிதாகி, அதன் மதிப்பு (90°)யை அணுகும்போது கோட்



படம் 262

டக்கோணம் 90° க்கு மிஞ்சிப் போகவேண்டும். ஆனால் இது ஒளிக்கோட்ட முறைக்கு சாத்தியமல்ல. எனவே மோதுங்கிரணம் ஒரு வரம்பு மீறிப் பெரிதாகிவிட்டால், ஒளிக்கிரணம் கோட்டமடையாமல் பிரதிபலன விதிகளுக்குட்பட்டு, மீண்டும் செறிவு மிகுந்த யானத்தினுள்ளேயே பிரதிபலித்துவிடும். (படம் 262). இவ்வாறு

பிரதிபலித்தலே 'பூரண - அந்தரப் பிரதிபலனம்' எனப்படும். நிற்க, கோட்டப்பான்மை என்பது

$$\frac{\sin\ (\text{மோதுங்கோணம்})}{\sin\ (\text{கோட்டக்கோணம்})} = \frac{1}{\mu}$$

எனவே $\frac{1}{\mu}$ sin (கோ. கோணம்) = sin (மோ. கோணம்).

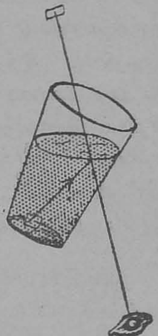
இப்போது sin (மோதுங்கோணம்) $= \frac{1}{\mu}$ ஆவதாகக்கொள்வோம். இதை மேற்கண்ட வாய்பாட்டிலே இட்டால் sin (கோ. கோணம்) = 1. அல்லது கோ. கோணம் = 90° ஆகும். எனவே கோட்டிய கிரணம் பிரிவுப் பரப்பைத் தழுவிச் செல்லும். இந்த நிலையிலே மோதுங்கோணத்தின் மதிப்பு ஒரு வரம்பாக இருக்கும். இதற்குச் சிறிய மோதுங்கோணங்களை உடைய ஒளிக்கிரணங்கள் கோட்டமடைகின்றன. இதைவிடப் பெரிய மோதுங்கோணங்களை உடைய கிரணங்கள் பூரணமாக உள்ளே பிரதிபலிக்கின்றன. எனவே மோதுங்கோணத்தின் இந்த மதிப்பை 'அவதிக் கோணம்' என்று கூறுவார்கள். sin (அவதிக் கோணம்) $= \frac{1}{\mu}$.

எனவே, அவதிக்கோணத்திற்கு இலக்கணம் கூறும் முறை வருமாறு:—

ஒரு ஒளிக்கிரணம் செறிவு மிகுந்த யானத்திலிருந்து செறிவு குறைந்த யானத்திற்குச் செல்லும் போது, கோட்டிய கிரணம் வரம்புப் பரப்பைத் தழுவிச்சென்றால், அதற்குரிய மோதுங்கோணம் அவதிக்கோணம் எனப்படும்.

செறிவு மிகுந்த யானத்திற்கும் செறிவு குறைந்த யானத்திற்கும் உள்ள கோட்டப்பான்மை μ ஆனால், அதற்கும் அவதிக்கோணத்திற்குமுள்ள உறவு $\mu = \frac{1}{\sin (\text{அவதிக்கோணம்})}$ ஆகும்.

இந்தப் பூரண பிரதிபலனத்தைப் பல சாமானிய நிகழ்ச்சிகளிலே நாம் பார்க்கலாம். ஒரு கண்ணாடிக் குவளையினுள் ஒரு நாணயத்தைப்போட்டு, அதிலே தண்ணீரை வார்த்து, குவளையைக் கையில் பிடித்துக்கொண்டு, நீர்மட்டம் நமது கண்ணுக்கு மேல் இருக்கும்படி வைத்துக் குவளையின் சுவர் வழியாகப் பார்த்தால், தண்ணீரின் பரப்பு ஒரு ஆடி போலக் குவளையினடியில் கிடக்கும் நாணயத்தைப் பிரதிபலிப்பதைக் காணலாம். (படம் 263). மேலும், ஒரு கண்ணாடிக் குவளையினுள் தண்ணீரைப் பெய்து ஒரு சோதனைக் குழாயின் மூடிய முனையைத் தண்ணீரினுள் அமிழ்த்திச் சாய்த்து வைத்துவிட்டு, குவளையைப் பலகணியின் எதிரே பிடித்துக்கொண்டு, தண்ணீரின் மேல்மட்டம் வழியாகச் சோதனைக் குழாயைப் பார்த்தால், அதன் மேற்புறமெல்லாம் இரசம் பூசியதுபோல் பிரகாசிப்பதைக் காணலாம். தண்ணீரினுள் படுக்கைத் திசையிலே நுழைந்த ஒளிக்கிரணங்களின் மோதுங் கோணம் மிகப் பெரிதாகிவிட்டபடியால், தண்ணீரை விடக் குறைவான செறிவையுடைய சோதனைக் குழாயினுள்ளிருக்கும் காற்று நிரையினுள்ளே அவை புகமுடியாமல், மீண்டும் பூரண பிரதிபலனமடைந்து நம் கண்ணுக்குப் படுவதால் இது ஏற்படுகிறது. இப்போது

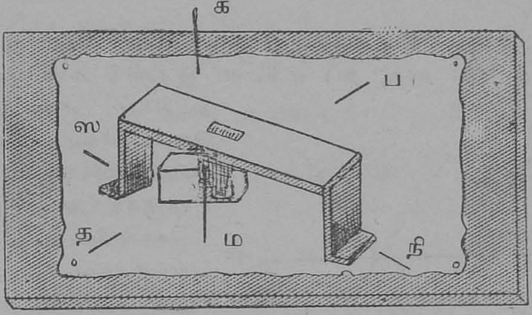


படம் 263

குழாயினுள் தண்ணீரைப் பெய்தால் இவ்வொளி மறைந்துவிடுவதைப் பார்க்கலாம். மற்றும், வைரங்களிலே காணப்படும் ஜொலிப்பும் இப்பூரண பிரதிபலனத்தால் ஏற்பட்டதேயாகும். வைரத்துக்கும் காற்றுக்குமுள்ள அவதிக்கோணம் 24° 26′ ஆகும். இதனால், வைரத்தினுள்ளேபுகுந்த ஒளிக்கிரணங்கள் மீண்டும் வெளிப்படுவதற்கு முன்னே, பலமுறை பூரண பிரதிபலன்களுக்குட்படும்படியாக, அவ் வைரத்தைப் பல படியாகப் பட்டை தீட்டுவது சாத்தியமாகிறது. இப்படிகங்களிலே புகுந்த ஒளிக்கிரணங்கள் ஏதேனுமொன்றிரண்டு முகங்கள் வழியாக மட்டுமே வெளியேறக் கூடும். இந்த முகத்திலே தாக்கும் கிரணங்களின் மோதும் கோணங்கள் அவதிக்கோணத்தைவிடச் சிறியனவாய் இருக்கும். இவ்வாறு வைரத்தினுட் புகுந்த பலவேறு கிரணங்களும் குவிந்து ஒன்றிரண்டு முகங்கள் வழியாகமட்டுமே வெளிவருவதாலேயே வைரங்களின் ஜொலிப்பு ஏற்படுகிறது.

அவதிக்கோணங்களைக் கண்டு திரவங்களின் கோட்டப்பான்மையைக் கணக்கிடல் :—2 அங்குல சதுரமான இரண்டு மெல்லிய கண்ணாடித் தட்டுகளினிடையே அவற்றின் ஓரங்களைச் சுற்றி மெல்லிய தகரப் பட்டையை வைத்து, கண்ணாடித் தட்டுகளை நெருக்கி மெழுகினாலே அதன் ஓரங்களை தட்டுகளுக்கிடைப்பட்ட இடம் காற்றிறுக்கமாக இருக்கும்படி வைக்கவேண்டும். (படம் 264 (1)). படத்தில் கண்டபடி ஒரு சிறு நாற்காலியின் பலகையிலே அதன் நீளப் போக்கிலே ஒரு நீண்ட துவாரத்தைவெட்டி, மேலே கூறிய இரட்டைத் தட்டின் மேல்புறத்தைக் கீழேயிருந்து அத்துவாரத்தினுள் செருகி, அதைமெழுகினாலேயே கெட்டிப்படுத்தி நிற்கவைக்கவும். இந்நாற்காலியின் ஒவ்வொருகாலிலும் ஒரு சூசிகையைப் பொருத்திவைக்கவும். ஒரு பலகை

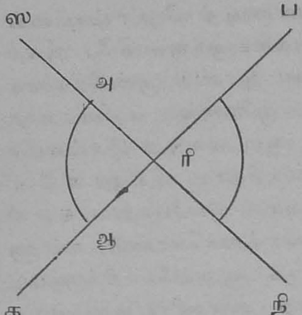
யின் மீது விரித்துத் தைக்கப்பட்ட வெள்ளைத் தாளின் மீது, நீர் நிரம்பிய ஒரு கண்ணாடித் தொட்டியை வைத்து, அதன் இரு எதிர்முகங்களுக்கு எதிரே அவற்றிற்கு லம்பமாக ம, க என்னும் இரண்டு குண்டூசிகளைக் குத்தி நிறுத்திவைக்கவும். முன்னால் கூறிய நாற்காலியை இத்தொட்டியைச் சூழ வைத்து இரட்டைக் கண்ணாடித் தட்டைச் செங்குத்தாக நீரினுள்ளே அமிழ்ந்திருக்கும்படி செய்யவும். இப்போது ம க என்னும் கோட்டிலே கண்ணை வைத்துக்கொண்டு, கண்ணாடித் தட்டை இப்பார்வைக்குக் குறுக்கே நிற்கும்படி செய்து, க-வின் படிவத்தைத் தண்ணீர், கண்ணாடித்



படம் 264 (1)

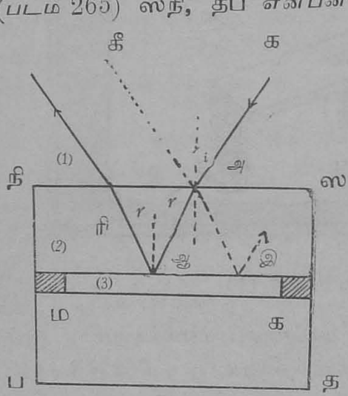
தட்டு ஆகிய இவற்றின் வழியாகப் பார்க்கவும். இப்போது நாற்காலியைச் சுழற்றினால், ஒரு நிலையிலே (க) வின் படிவம் மறைவதைக் காணலாம். இவ்வாறு மறையும் நிலையிலே, நாற்காலியின் காலோடு பொருத்தப்பட்ட சூசிகைகளின் நிலையை ஸ, நி என்னுமிரு புள்ளிகளால் குறித்துக்கொள்ளவும். (படம் 264 (2)) இப்போது நாற்காலியை எதிர்ப்புறமாகச் சுழற்றி, மறுபடியும் (க) வின் படிவம் பார்வையிலிருந்து மறையும் நிலை

யிலே சூசிகைகளின் நிலையை, த, ப என்னுமிரு புள்ளிகளால் குறித்துக் கொள்ளவும். நாற்காலி, தொட்டி முதலியவற்றை நீக்கிவிட்டு, ஸ நி, த ப என்னும் கோடுகளைச் சேர்த்து, அவற்றை ரீ-யில் பரஸ்பரம் வெட்டும் படியாக நீட்டவும். ஸ ரீ த என்ற கோணத்தை அளக்க, அதில் பாதியே அவதிக்கோணமாகும்.



படம் 264 (2)

இப்பரிசோதனையின் தத்துவம் வருமாறு:— (படம் 265) ஸநி, தப என்பன இரண்டு கண்ணாடித் தட்டுகள் என்றும் இவற்றினிடையே காற்றுப்படலம் அடைபட்டிருக்கிறது என்றும் கொள்வோம். திரவயானத்தை (1) என்றும், கண்ணாடி யானத்தை (2) என்றும், காற்றை (3) என்றும் குறிப்பிடுவோம். (1) என்னும் யானத்தில் செல்லுமொரு கிரணம் கண்ணாடியின்



படம் 265

மீது i என்னும் கோணத்திலே மோதினால், கோட்டிய கிரணமாகிய அஆ லம்பத்திற்கு r என்னும் கோணத்தினளவு சாய்ந்திருக்கும். ஸநி என்பது இணையான ஓரங்களை உடையதாகையால், இக்கதிர் கண்ணாடியை

யும் காற்றையும் பிரிக்கும் பரப்பிலே r என்னும் கோணத்திலே மோதும். இப்போது ஸநி, தப என்பவற்றைத் திருப்பி (i) என்னும் கோணத்தைப் பெரிதாக்கினல், அஆ என்னும் கிரணம் ஒரு நிலையிலே ஆ என்றவிடத்தில் பூரணமாகப் பிரதிபலிக்கிறது. இப்போது r என்பது கண்ணாடிக்கும் காற்றுக்குமுள்ள அவதிக் கோணமாகும்.

$$\text{இப்போது,}\quad \frac{\sin i}{\sin r} = {}_1\mu_2$$

$$\sin r = \frac{1}{{}_3\mu_2} = {}_2\mu_3 \text{ ஆகும்.}$$

நிற்க, ${}_1\mu_2 \times {}_2\mu_3 \times {}_3\mu_1 = 1.$

எனவே, மேற்கண்டவற்றை ஈடிட

$$\frac{\sin i}{\sin r} \times \sin r \times {}_3\mu_1 = 1$$

அல்லது $\sin i \times {}_3\mu_1 = 1$ அல்லது

$${}_3\mu_1 = \frac{1}{\sin i}$$

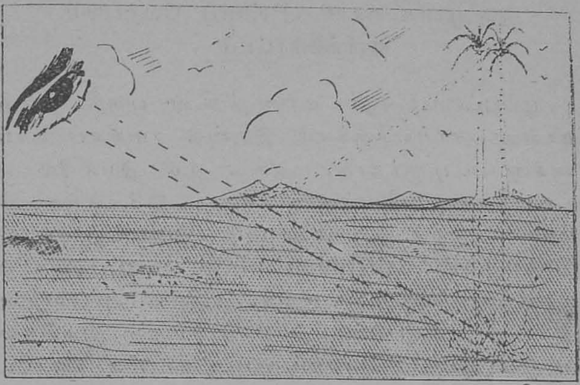
இதனால் i என்பது தண்ணீருக்கும் காற்றுக்குமுள்ள அவதிக்கோணம் என்று தெரிகிறது. ஆகையால் பரிசோதனையிலே ஸரீத (படம் 264(2)) என்னும் கோணத்தில் பாதி அவதிக்கோணமாகும். இதனால் கோட்டப்பான்மையை எளிதிலே கணக்கிட்டுவிடலாம். சீர்திருத்தப்பட்ட சில கருவிகளிலே தட்டின் சுழற்சியை வகைப்பாடு செய்யப்பட்ட ஒரு வட்டமான அளவியினல் நேரே அளந்துவிடலாம்.

பேய்த்தேர் அல்லது கானல் நீர் (Mirage):-இதுவும் பூரண பிரதிபலனத்தால் ஏற்படும் நிகழ்ச்சியேயாகும். வெப்பம் மிகுந்த மணல் வெளிகளாகிய பாலை

நிலங்களிலே, நெடுந்தூரத்தில் பெரிய நீர் நிலைகள் இருப்பது போன்ற தோற்றம் ஏற்படும். மரங்களின் பிரதிபிம்பங்கள் அவற்றினடியிலே நீர்நிலைகளில் தோன்றுவது போலத் தலைகீழாகத் தோன்றும். இதைக் கண்டு வழிப்போக்கர்கள் ஏமாறுவதுண்டாம்.

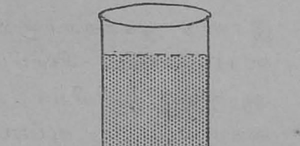
இது ஏற்படும் முறை வருமாறு: பாலை நிலங்களிலே, மணலின் வெப்பத்தினால் தரைக்கு அடுத்துள்ள காற்றுப் படலங்கள் விரிவடைந்து, அவற்றின் செறிவு குறைந்துவிடுகிறது. இதனால் அவற்றின் கோட்டப்பான்மையும் குறைந்துவிடுகிறது. ஆனால் சற்று மேலேயுள்ள படலங்களின் கோட்டப்பான்மை மட்டும் குறையாமல் இருக்கும். இதனால் மரங்கள் போன்ற பொருள்களிலிருந்து கீழ்நோக்கி வரும் கிரணங்களின் சாய்வு அதிகமானபோது, அவை கீழே ஒளியியல் செறிவு குறைந்துள்ள காற்றுப் படலங்களுக்குள்ளே புகமுடியாமல் பூரணமாகப் பிரதிபலிக்கப்பட்டு மேலெழுந்து காண்போன் கண்ணிலே படுகின்றன. இதனால் ஈச்சமரம் போன்ற பொருள்களின் படிவங்கள் அவற்றினடியிலே தலைகீழாகத் தோன்றும். இந்தத் தோற்றமே கீழே நீர்நிலையிருப்பது போன்ற மயக்கத்தை யுண்டாக்கி அறியாத வழிப்போக்கர்களையும் ஏமாற்றிவிடுகிறது. ஆகையால் இதைப் பேய்த்தேர் என்றும் கானல் நீர் என்றும் கூறுவார்கள். (படம் 256) இல் மரம் தலைகீழாகத் தோற்றுவது காட்டப்பட்டுள்ளது.

ஒளி வீழ்ச்சி (Luminous cascade) (படம் 267). ஒரு இருட்டறையிலே, ஒரு கண்ணாடிச் சாடியின் அடியிலே, ஒரு புறத்திலேயுள்ளதொரு தூம்பியின் வழியாகத் தண்ணீரை விழச்செய்து, தூம்பிற்கு எதிர்ப்புறத்தின் வழியாக ஒரு விளக்கினின்று வரும்



படம் 266

ஒளிக்கற்றையைச் செலுத்தி, அது தூம்பிற்குச் சற்று கீழே படும்படி செய்தால் ஒளி தூம்பிற்கு அப்புறம் செல்லாது நின்றுவிடும். நீர்த் தாரைப் பிரகாசத்துடன் வெளிவருவதைக் காணலாம். நீர்வீழ்ச்சி போன்று ஒளித்தாரை கீழேயுள்ள கலத்தில் விழுந்து நாற்புறமும் இவ்வாறு சிதறுவதையே ஒளிவீழ்ச்சி என்பார்கள்.

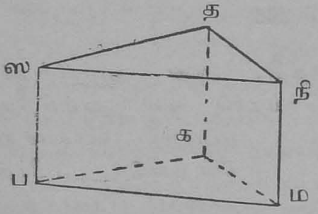


படம் 267

நீர்த்தாரையின் நெடுக அதனடிப்புறத்திலே தாக்கும் ஒளிக்கற்றை, எங்கும் அவதிக்கோணத்தைவிடப் பெரியதொரு கோணத்திலே மோதுவதால், அது எங்கும் வெளிச்செல்ல முடியாமல் பூரணமாகப் பிரதிபலிக்கப் படுகிறது.

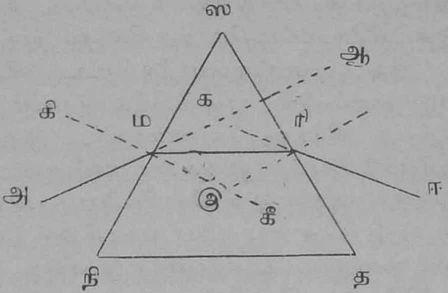
ஒரு முப்பட்டையி (Prism) லேற்படும் ஒளிக்கோட்டம்

முப்பட்டை:—ஓர் யானத்தின் பகுதி ஒன்றுக் கொன்று சாய்ந்திருக்கும் இரண்டு சமதளப் பரப்புகளுக்குட்பட்டிருந்தால், அதை ஒளி இயலிலே முப்பட்டையென்று சொல்லுவார்கள். இத்தளங்களுக்கு லம்பமான எந்த ஒரு தளமும் இம்முப்பட்டையின் 'பிரதம தளம்' (principal plane) எனப்படும். இச் சமதளங்கள் வெட்டுமிடம் கோட்ட விளிம்பு (refracting edge) எனப்படும். இரண்டு சமதள முகங்களுக்கும் இடைப்பட்ட கோணம் முப்பட்டையின் கோட்டக் கோணம் (refracting angle) எனப்படும். (படம் 268). படத்திலே ஸநிபம, ஸதகப என்பன முப்பட்டையின் இரண்டு முகங்களானால், ஸப கோட்ட விளிம்பு ஆகும். ஒளியியலிலே கையாளப்படும் முப்பட்டைகளிலே பல படத்திலே கண்ட வடிவத்தை உடையனவாய் இருக்கும். இவற்றின் மேல் முகமும் அடிமுகமும் பிரதம தளங்களாகும். இதிலே தஸநி என்பது கோட்டக் கோணமாகும். இவை பெரும்பாலும் கண்ணாடியால் செய்யப்பட்டவை. இவற்றின் இரு முகங்களும் நன்றாக மெருகிடப்பட்டிருக்கும். கீழ்முகமும் மேல் முகமும் சிலபோது மூன்றாவது முகமும் மெருகிடப் படாமலிருக்கும். இம்மூன்றாவது முகமும் மெருகிடப் பட்டிருந்தால் எந்த விளிம்பையும் கோட்ட விளிம்பாகக் கொள்ளலாம்.



படம் 268

ஒளிக்கோட்டம் :—(படம் 269). ஸ நி த என்பது ஒரு முப்பட்டையின் பிரதமதளத்தின் வெட்டுவாய்



படம் 269

என்று கொள்வோம். ஸ என்பது முப்பட்டையின் கோணமென்றும், μ என்பது இம்முப்பட்டையின் கோட்டப்பான்மை என்றும் கொள்வோம்.

இதன் ஸ நி என்னும் முகத்தின் மீதுள்ள ம என்ற புள்ளியிலே அம என்ற கிரணம் i என்ற கோணமுண்டாகத் தாக்குகிறது என்று வைத்துக்கொள்வோம். இது மரி என்னும் திசையிலே கோட்டமடைந்து செல்லும். இகி என்பது லம்பமானால்

$$\frac{\sin \text{ அமகி}}{\sin \text{ இமரி}} = \mu \text{ ஆகும்.}$$

ஸ நி என்ற முகத்திலேற்பட்ட கோட்டத்தால் இக்கிரணம் $(i-r)$ என்னும் கோணத்தினளவு விலக்கப்பட்டது. மரி என்னும் கிரணம், மறுபடியும் ஸ த என்ற முகத்திலே கோட்டமடைந்து, ரிஈ என்னும் திசையிலே காற்றிலே வெளிப்படுகிறது. வெளிப்படு கோணத்தை i' என்று குறிப்பிடுவோம். முதல் முகத்திலேற்பட்ட கோட்டக்கோணத்தை (r) என்றும், இரண்டாவது முகத்திலேற்பட்ட மோதுங்கோணம் (r') என்

றும் குறிப்பிடுவோம். மரி என்னும் கிரணம் $(i'-r')$ என்னும் கோணத்தினளவு விலகி வெளிப்படுகிறது. எனவே நுழையும் கிரணத்திற்கும் வெளிப்படு கிரணத்திற்கும் இடையிலேற்பட்ட மொத்த விலக்கம் $[(i-r)+(i'-r')]$. இது முப்பட்டையாலேற்பட்ட விலக்கம் (deviation) எனப்படும். படத்திலே (படம் 269) ஆகரி என்பது விலக்கக் கோணமாகும். இதை D என்று குறிப்பிடுவோம். இதுவரை நாம் கண்ட பல கோணங்களின் உறவுகளை இனி விசாரிப்போம். விலக்கம் $D=(i-r)+(i'-r')$. மோதுவாயிலும் வெளிப்படுவாயிலும் வரையப்பட்ட லம்பங்கள் இ என்ற விடத்திலே குறுக்கிடுவதாகக்கொள்வோம். ஸமஇரி என்பது ஒரு வட்டாவிய நாற்கோணமாகும் (cyclic quadrilateral). எனவே கோணம் ஸ = கோணம் ரிஇகீ ஆகும்.

$$\text{கோணம் ஸ} = r + r'.$$

முதலிலே கண்ட உறவுப்படி

$$D = i + i' - (r + r').$$

எனவே A க்கு ஈடிடவே

$$D = i + i' - A \text{ ஆகும்.}$$

மோதுங் கிரணம் சிறியதாய் இருக்கும்போது விலக்கம் பெரியதாயிருக்கிறதென்பதையும், மோதுங் கிரணம் பெரிதாகப் பெரிதாக விலக்கம் சிறியதாகிக் கொண்டே ஒரு நீச எல்லையை அடைகிறதென்பதையும், பின்னும் மோதுங்கோணம் பெரிதானுல் விலக்கம் மறுபடியும் பெரிதாகிக்கொண்டே போகிறது என்பதையும், பரிசோதனையினுல் மிக எளிதிலே காணலாம். ஒரு முப்பட்டையிலே இவ்வாறு விலக்கம் அடைகிற நீச நிலையின் மதிப்பை அம்முப்பட்டையின் 'நீசவிலக்கம்'

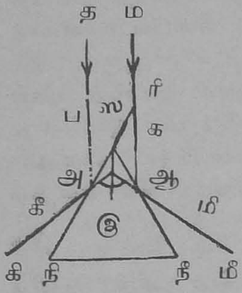
(minimum deviation) என்று சொல்லுவார்கள். இந்த நிலையில் முப்பட்டையே நீசவிலக்க நிலையில் நிற்பதாகக் கூறப்படும். இதே நிலையில் நுழையும் கிரணமும் வெளிப்படும் கிரணமும், தத்தமக்குரிய லம்பங்களோடு ஒரே கோணத்தினளவுக்குச் சாய்ந்திருப்பதையும் பரிசோதனையால் அறியலாம். எனவே நீசவிலக்க நிலையில் $i = i'$ ஆகும். இதனால் $r = r'$ ஆகும். அல்லது முப்பட்டையினுள் ஒளிக்கிரணம் இரண்டு முகங்களுக்கும் ஒரே அளவிலே சாய்ந்திருக்கும். இப்போது $D = i + i' - A$; மற்றும் $A = r + r'$ என்னும் உறவுகள் $D = 2i - A$ என்றும், மற்றும் $A = 2r$ என்றும் ஆகும். அல்லது $i = \frac{D + A}{2}$, $r = \frac{A}{2}$ ஆகும். இதனால் முப்பட்டை செய்யப்பட்ட பொருளின் ஒளிக்கோட்டப்பான்மை

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin\left(\frac{A + D}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$ ஆகும்.

ஒரு முப்பட்டை செய்யப்பட்டிருக்கும் பொருளின் கோட்டப்பான்மையைக் காண :—நாம் மேலே கண்ட உறவின்படி ஒரு முப்பட்டையின் கோணமாகிய A-யையும், அதன் நீசவிலக்கமாகிய D-யையும் அளந்துவிட்டால், அம்முப்பட்டை செய்யப்பட்ட பொருளின் கோட்டப்பான்மையை, $\mu = \frac{\sin\left(\frac{A + D}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$ என்னும் வாய்பாட்டினால் எளிதில் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

ஒரு முப்பட்டையின் கோணத்தை அளவிட :—ஒரு மரப்பலகையின் மீது விரித்து நாற்புரமும் தைக்கப்பட்டதொரு வெள்ளைத்தாளின் மீது தப, மக என்னுமிரு இணை சேர்கோடுகளை வரையவும். ஒரு முப்பட்

டையை அதன் ஒரு விளிம்பு இந்த இரண்டு கோடுகளுக்கும் இடையே சமசீராய் நிற்குமாறு வைக்கவும். அதன் விளிம்பு வரையாகிய ஸ நி நீ-யை வரைந்து கொள்ளவும். (படம் 270). ஒரு கோட்டின்மீது த, ப என்ற இடங்களிலே இரண்டு குண்டூசிகளைக் குத்தி நிறுத்தி வைக்கவும். த ப என்பதை மோதுங்கிரணமாகக் கொண்டு அது ஸ நி-யிலே பிரதிபலித்து மீண்டுவரும் மீட்சிக்கிரணத்தைக் கண்டு, கீ, கி என்னும் குண்டூசிகளால் அதைக் குறித்துக்கொள்ளவும். இவ்வாறே ம க என்னும் மோதும் கிரணம் ஸ நி என்னும் முகத்திலே பிரதிபலித்ததால் ஏற்பட்ட மீ மீ என்னும் மீட்சிக்கிரணத்தையும் கண்டு வரைந்துகொள்ளவும். முப்பட்டையை நீக்கிவிட்டு கி கீ, மீ மி என்னும் கோடுகளை நீட்டிவிட்டு அவை பரஸ்பரம் இ-யில் வெட்டும்படி செய்யவும். கி இ மீ என்னும் கோணத்தை அளந்தால், அதில் பாதியே முப்பட்டையின் கோணமாகிய நி ஸ நீ-க்குச் சமமாகும். இதை நாம் எளிதிலே நிரூபித்துவிடலாம். த ப, கி கீ என்னும் கோடுகள் ஸ நி-யை அ-விலே சந்திப்பதாகவும், ம க, மீ மி என்பன ஸ நி-யை ஆ-விலே சந்திப்பதாகவும் கொள்வோம். அ ஸ-வை நீட்டிவிட்டு அது ம க-வை ரி-யிலே சந்திக்கும்படி செய்யவும்.



படம் 270

கோணம் அ இ ஆ = அ ஸ ஆ + ஸ அ இ
+ ஸ ஆ இ.

ஆனல் கோணம் ஸ அ இ = கி அ நி
= த அ ஸ = ஸ ரி ஆ.

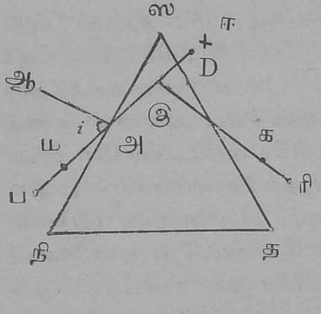
மற்றும் கோணம் ஸ ஆ இ = மி ஆ நீ = ஸ ஆ ரி.

ஆகையால் கோணம் அ இ ஆ = அஸஆ + ஸ ரி ஆ + ஸ ஆ ரி.

ஆனல் கோணம் ஸ ரி ஆ + கோணம் ஸ ஆ ரி = அ ஸ ஆ.

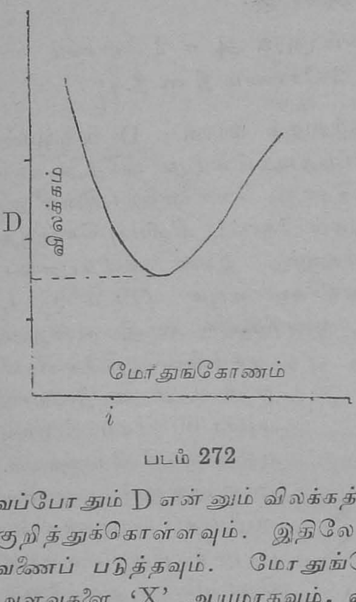
ஆகையால் கோணம் அ இ ஆ = 2 கோணம் அ ஸ ஆ = 2 கோணம் நி ஸ நீ.

நீச நிலை விலக்கத்தைக் காண i, D உருவகம் வரைதல் :—ஒரு மரப்பலகையின்மீது விரித்து நாற்புறமும் தைக்கப்பட்டதொரு வெள்ளைத்தாளின்மீது, ஒரு முப்பட்டையை அதன் கோட்ட விளிம்பு செங்குத்தாய் நிற்குமாறு வைக்கவும். இதன் விளிம்புவரை ஸ நி த-வை குறித்துக்கொள்ளவும். (படம் 271). ப, ம என்னுமிரண்டு குண்டூசிகளை ஸ நி என்னும் முகத்திற்கெதிரே பம என்பது ஸ நி-யோடு சுமார் 60° சாய்ந்திருக்குமாறு குத்தி நிறுத்தவும். ஸ த என்னும் முகத்தின் வழியாகப் பார்த்தால், ப, ம-க்களின் படிவங்கள் தெரியும். அவற்றோடு ஒரே நேர் கோட்டில் நிற்கும்படி ரீ, க என்னுமிரண்டு குண்டூசிகளைக் குத்தி நிறுத்தவும். முப்பட்டையை எடுத்துவிட்டு பம, கரீ என்னுமிரண்டு கோடுகளையும் நீட்டிவிட்டு, அவை இ என்னுமிடத்திலே வெட்டும்படி செய்யவும். இப்போது பம என்பது மோதும் கிரணமும் கரீ என்பது வெளிப்படும்



படம் 271

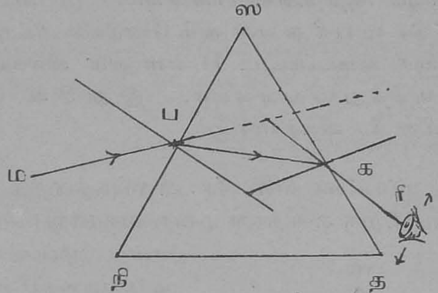
கிரணமும் ஆகும். ப ம-வை நீட்டிவிட்ட கோட்டிலே இ-க்கு அப்புறம் ஈ என்பது ஒரு புள்ளியானால் ஈ இ ரீ என்பது இக்கிரணத்தின் விலக்கமாகும். இந்தக் கோணத்தை அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும். ப ம ஸ நி-யிலே தாக்குமிடம் அ என்றும், அ ஆ என்பது ஸ நி-க்கு லம்பமென்றும் கொள்வோம். ப அ ஆ என்பது மோதுங் கோணமாகும். இதையும் அளந்துகொள்ளவும். இதே பரிசோதனையைப் பன்முறை திருப்பி செய்துஒவ்வொரு தடவையும் மோதுங்கோணத்தை முறையே 30°, 35°, 40°, 45°, 50°, 60°, 65°, 70° ஆக மாற்றிவைத்து, அவ்வப்போதும் D என்னும் விலக்கத்தின் அளவைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இதிலே கண்ட ஈவுகளை அட்டவணைப் படுத்தவும். மோதுங்கோணமாகிய (*i*) இன் அளவுகளை 'X' ஆயமாகவும், விலக்கமாகிய (D) யின் மதிப்புகளை y ஆயமாகவும் கொண்டதொரு உருவகம் வரையவும். அது (படம் 272) இல் கண்டபடி ஒரு வளைவு கோடாக இருக்கும். அதிலிருந்து D-யின் நீசநிலை மதிப்பைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும்.



படம் 272

நீசவிலக்கக் கோணத்தை நேரே காணுதல் :— மரப்பலகையின்மேல் விரித்துத் தைக்கப்பட்டதொரு வெள்ளைத்தாளின் மீது, ஒரு முப்பட்டையை ஸ என்

னும் அதன் கோட்ட விளிம்பு நிமிர்வையாக நிற்கும்படி வைக்கவும். அதன் ஸ நி என்னுமொரு முகத்தை

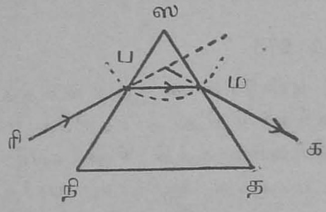


படம் 273

யொட்டி ப என்னும் ஒரு குண்டூசியைக் குத்தி நிறுத்தவும். (படம் 273). அதற்குச் சிறிது தூரத்திலே ம என்னும் மற்றொரு குண்டூசியைக் குத்தி நிறுத்தவும். இப்போது ஸ த என்ற முகத்தின் வழியாகப் பார்த்தால் ப ம-க்களின் படிவங்கள் தெரியும். இவை ஒன்றை யொன்று மறைக்கும்படி கண்ணை வைத்துக் கொண்டு, முப்பட்டையை ப என்னும் குண்டூசியைச் சுற்றி மெதுவாகத் திருப்பவும். ம ப-க்களின் படிவங்கள் ஸ என்னும் விளிம்பை நோக்கியாவது, அல்லது நி த என்னும் பீடத்தை நோக்கியாவது நகரும். பீடத்தை நோக்கி நகர்ந்தால் அதே திசையில் மேலும் திருப்பவும். விளிம்பை நோக்கி நகர்ந்தால் அந்தத் திசையில் சுற்றுவதை நிறுத்திவிட்டு எதிர்த்திசையில் திருப்பவும். எனவே இப்போது ம ப-க்களின் படிவங்கள் பீடத்தை நோக்கிவரும். இவ்வாறு சிறிது தூரம் நகர்ந்த பின்னர் அவை திரும்பி ஸ என்னும் விளிம்பை நோக்கி நகருவதைக் காணலாம். இவ்வாறு ம ப-க்களின் படிவங்கள் நகரும் திசை மாறுகின்ற நிலையைக் கண்டு, முப்பட்டையை அப்படியே நிறுத்தி, க ரி என்

னும் வெளிப்படு கிரணத்தைக் குறித்துக்கொண்டு, அப்போதே முப்பட்டையின் ஸ நி த என்னும் விளிம்பு வரையையும் குறித்துக்கொள்ளவும். முப்பட்டையை நீக்கிவிட்டு, ம ப ரி க என்னும் கோடுகளை நீட்டிவிட்டு, அவைகளுக் கிடைப்பட்ட D என்னும் விலக்கத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இதுவே அம்முப் பட்டையின் நீச விலக்கமாகும்.

ஒரு முப்பட்டையின் நீச விலக்கத்தைக் காணு வதற்கு மற்றொரு எளிதான முறை வருமாறு:—ஸ நி த என்ற முப்பட்டையை மரப்பலகையின் மேல் விரிக்கப்பட்ட தாளின் மீது வைத்து, அதன் விளிம்பு வரையை எடுத்துக்கொள்ளவும். (படம் 274). ஸ-வை மையமாகவும், ஏதே னும் ஸ ப என்னும் நீளத்தை ஆரமாகவும் கொண்டதொரு வட்டத்துண்டி னால் ஸ நி, ஸ த-க்களை முறையே ப, ம என்ற இடங் களிலே வெட்டவும். முப்பட்டையை மறுபடியும் அதனி டத்திலேயே வைத்துவிட்டு ப, ம என்ற இடங்களிலே இரண்டு குண்டூசிகளைக் குத்தி நிறுத்தவும். ஸ த-வின் வழியாக ப-வின் படிவத்தைப் பார்த்து, அதுவும் ம என்னும் குண்டூசியும் ஒன்றையொன்று மறைத்து நிற்க, அவற்றோடு ஒரே நேர்கோட்டிலிருக்கும்படியாக க என் னும் மூன்றாவது குண்டூசியைக் குத்தி நிறுத்தவும். இப்படியே ஸ நி என்னும் முகம் வழியாக ம என்னும் குண்டூசியின் படிவத்தைக் கண்டு, அதுவும் ப என்னும் குண்டூசியும் ரி என்னும் நான்காவதொரு குண்டூசியும் ஒரே நேர்கோட்டிலிருக்கும்படி ரி என்ற குண்டூசியைக்

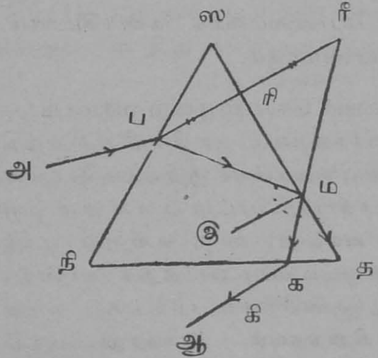


படம் 274

குத்தி திருத்தவும். ரீப, கம என்னும் கோடுகளை நீட்டிவிட்டு, D என்னும் கோணத்தை அளந்தால், அதுவே இம்முப்பட்டையின் நீச விலக்கமாகும்.

ஒரு திரவத்தின் கோட்டப்பான்மை காணும் முறை வருமாறு :—முப்பட்டை வடிவான கண்ணாடித் தொட்டியிலே அதை நிரப்பி, மேற்கூறியது போலவே முப்பட்டையின் கோணத்தையும், அதன் நீச விலக்கத்தையும் கண்டு $\mu = \dfrac{\sin \frac{A+D}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$ என்னும் வாய்பாட்டினால் திரவத்தின் கோட்டப்பான்மையைக் கணக்கிடலாம்.

ஒரு முப்பட்டையிலே அவதிக் கோணத்தைக் கண்டு அதன் கோட்டப்பான்மை காண :—ஸ நி த என்பது முப்பட்டையென்றும், அ ப என்னும் ஒளிக்கிரணம் அதன்மீது தாக்குவதாகவும் கொள்வோம். (படம் 275). இது ஸ நி என்ற முகத்திலே கோட்டமடைந்து, ப ம என்ற திசையிலே சென்று, ஸ த என்னும் முகத்திலே மோதி, அங்கு மறுபடியும் கோட்டமடைந்து வெளிப்படும். ஆனால் ப ம என்ற கிரணம் ஸ த-வின்மீது தாக்கும்போது ஏற்படும் மோதுங்கோணம் அவதிக் கோணத்தைவிடப் பெரிதானால், அது கோட்டமடைந்து வெளிப்படாமல் பிரதி



படம் 275

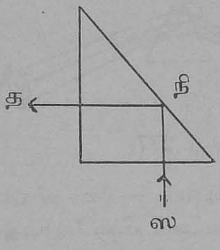
பலிக்கப்பட்டு, நி த என்னும் முகத்திலே க என்னுமிடத்திலே மோதி, அங்கே மறுபடியும் கோட்டமடைந்து க ஆ என்னும் திசையிலே வெளிவரும். நாம் முப்பட்டையைச் சரிவரத் திருப்பி, ப ம இ என்னும் கோணம் அவதிக்கோணத்திற்குச் சமமாகும்படி செய்வோம். இப்போது ப ம என்னும் கிரணத்தின் ஒரு பகுதி ஸ த என்னும் முகத்தை தழுவி ம த என்ற திசையில் செல்ல, மற்றொரு பகுதி பிரதிபலிக்கப்பட்டு க ஆ என்னும் வழியாகச் செல்லும். நாம் முப்பட்டையின் இந்த நிலையைப் பரிசோதனையால் காணக்கூடுமானால், பிறகு க, ப என்னும் புள்ளிகளோடு ஒரே அளவில் சாய்ந்திருக்கும் ம என்ற புள்ளியை நிர்ணயித்து அவதிக்கோணத்தையும் அளந்துவிடலாம்.

$\mu = \dfrac{1}{\sin c}$ என்னும் வாய்பாட்டினுதவியால் முப்பட்டையின் கோட்டப்பான்மையைக் கணக்கிடலாம். c என்பது அவதிக்மோணமாகும்.

இப்பரிசோதனையைச் செய்யும் முறை வருமாறு:—ஒரு முப்பட்டையை விரிக்கப்பட்ட தாளின்மீது நிறுத்தி வைத்து, அதன் விளிம்பு வரையைக் குறித்துக்கொள்ளவும். ஸ நி என்ற முகத்தை யொட்டி ப என்னும் ஒரு குண்டூசியை நிறுத்தி வைத்து, ஸ த என்னும் முகத்தின் வழியாக அதை ஒட்டியபடி பார்த்துக்கொண்டு, அ என்ற மற்றொரு குண்டூசியை ப-வுக்குச் சற்று தூரத்திலே குத்தி நிறுத்தவும். இவ்வாறு குத்தி நிறுத்தும்போதும், ஸ த-வை ஒட்டிப் பார்க்கும் போதும், ப, அ-க்களின் படிவங்களிரண்டும் ஒரே நேர்கோட்டில் தெரியவேண்டும். இப்போது நி த என்ற முகத்தின் வழியாக ப, அ-க்களின் படிவங்களைக் கண்டு, அவற்றோடு ஒரே நேர் கோட்டிலே நிற்கும்படியாக ஆ, கி என்ற குண்டூசிகளைக் குத்தி நிறுத்தவும்.

முப்பட்டையையும் குண்டூசிகளையும் நீக்கிவிட்டு, ஆ, கி என்ற புள்ளிகளைச் சேர்த்து, அதை நீட்டிவிட்டு நி த-வை க என்னும் புள்ளியிலே சந்திக்கச் செய்யவும். அப என்ற ஒளிக்கிரணம், ஸ த என்ற முகத்திலே மோதிப் பூரணமாகப் பிரதிபலிக்கப்படும் இடமாகிய ம-வைக் காணவேண்டும். இப்புள்ளி ப, க என்னும் புள்ளிகளுக்கு ஒரே அளவிலே சாய்ந்திருக்கும். ப-வி லிருந்து ஸ த-வுக்கு ப ரி என்ற ஒரு லம்பம் வரைந்து அதை ரீ வரையில் ப ரி = ரிரீ ஆகும்படி நீட்டிவிடவும். ரீ க என்ற கோட்டைச் சேர்க்க அது ஸ த-வை ம-விலே வெட்டும். எனவே ம-வின் நிலை நிர்ணயிக்கப் பட்டது. ப ம க என்ற கோணத்தை அளவிட்டால் அதில் பாதியே அவதிக்கோணமாகும்.

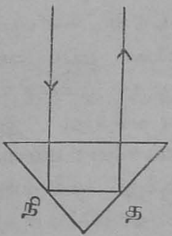
பூரண பிரதிபலன முப்பட்டைகள் :—(படம் 276 (1)) என்னும் படம் ஒரு செங்கோண முப்பட்டை யாகும். ஸ நி த என்ற ஒரு கிரணம் முதல் முகத்திற்கு லம்பமாக மோதுகிறது. இதனால் இக்கிரணம் கோட்டமடையாமல் உட்புகுந்து மூலைவரை முகத்தின்மீது தாக்கிப் பிரதிபலிக்கப்பட்டு, மூன்றுவது முகத்தின்மீது லம்பமாக மோதிக் கோட்டமடையாமல் வெளியேறுகிறது. இது இரு சம முக்கோணமாகையால் நி-யிலேற்படும் மோதுங்கோணம் 45° ஆகும்.



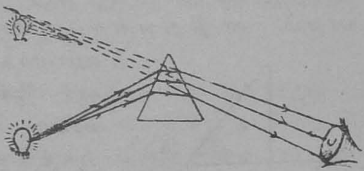
படம் 276 (1)

கண்ணுடியின் அவதிக்கோணமோ $41^\circ 9'$ ஆகும். ஆகையால் இக்கிரணம் நி-யிலிலே பூரணமாகப் பிரதிபலிக்கப் படுகிறது. இதனுல் முதல் முகத்திலும், மூன்றுவது முகத்திலும் ஏற்படும் ஓரளவு பிரதிபலிப்பினுல் இழந்த சிறு பகுதியைத்தவிர, எஞ்சிய ஒளியெல்லாம் குறைவு

படாமல் வெளிப்படுகிறது. இத்தகையதொரு முப்பட்டையே பூரண பிரதிபலன முப்பட்டை எனப்படும். ஒரு ஒளிக்கற்றையை 90° அளவுக்குத் திருப்பவேண்டிய போது ஆடிக்குப் பதிலாக இந்த முப்பட்டை பெரும்பாலும் கையாளப்படுகிறது. ஆடியிற்காக ஒரு கண்ணாடியின் முன் புறத்திலே இரசம் பூசினால் அது மங்கலாய்விடுகிறது. பின்புறத்திலே இரசம் பூசினால் மங்கலாகாவிடினும், முன் முகத்திலேற்படும் பிரதிபலன படிவமும் மேலே படிவதனால் இரண்டாவது முகத்திலேற்படும் படிவம் தெளிவற்றதாகிவிடுகிறது. இத்தகைய குறைபாடுகள் பூரண பிரதிபலன முப்பட்டைகளுக்கில்லை. இரண்டாவது படத்தில் காட்டிய படி (படம் 276 (2)) இதே முப்பட்டையைக் கொண்டு ஒரு ஒளிக்கிரணத்தை 180° அளவுக்கும் திருப்பிவிடலாம்.



படம் 276 (2)



படம் 277

முப்பட்டையினுலேற்படும் படிவம்:—நீச விலக்க நிலையிலே வைத்தாலொழிய முப்பட்டையினுலேற்படும் படிவம் தெளிவாய் இராது. மோதுங்கோணத்திற்கும் விலக்கத்திற்குமாக வரைந்த உருவகத்தைப் பார்த்தால், நீசவிலக்க நிலைக்கு அருகிலே, மோதுங்கோணம் சிறிது வேறுபட்டால் விலக்கம் அதிகமாக வேறுபடுவதில்லை என்பது தெரியும். அதாவது நீச விலக்க நிலையிலே, ஒரு குறுகிய கிரணக்கற்றையிலுள்ள எல்லாக் கிரணங்களும் ஏறக்குறைய ஒரே அளவுக்கு விலக்கப்

படுவனவாம். (படம் 277). எனவே, இவற்றையெல்லாம் பின் புறமாக நீட்டிவிட்டால் அவையெல்லாம் படிவமாகிய ஒரே புள்ளியில் கூடும். இதனால் இப்படிவம் தெளிவானதாய் இருக்கும்.

உதாரணம் :—1. ஒரு கண்ணாடிக் கட்டிக்குள்ளிருக்கும் காற்றுக்குமிழ், கண்ணாடியின் பரப்பிலிருந்து செங்குத்தாகப் பார்க்கும்போது அதற்கு 3 செ. மீ. தூரத்திலிருப்பதாகக் காணப்பட்டது. அதன் உண்மையான தூரம் யாது? கண்ணாடியின் கோட்டப் பான்மை 1·52.

$$\text{கோட்டப்பான்மை} = \frac{\text{மெய்யாழம்}}{\text{பொய்யாழம்}}$$

கணக்கின்படி கோட்டப் பான்மை = 1·52.

பொய்யாழம் = 3 செ. மீ.

$$\text{எனவே } 1 \cdot 52 = \frac{\text{மெய்யாழம்}}{3}$$

$$\text{அல்லது மெய்யாழம்} = 3 \times 1 \cdot 52$$

$$= 4 \cdot 56 \text{ செ. மீ.}$$

காற்றுக்குமிழ் கண்ணாடியின் பரப்புக்குப் பின்னே 4·56 செ. மீ. ஆழத்தில் இருக்கிறது.

உதாரணம் :—2. ஒரு குவளையினடியிலே ஒரு வெண்மையான பொருளை வைத்து, அதிலே தண்ணீர் 20 செ. மீ. ஆழத்திற்கு நிரப்பப்பட்டது. தண்ணீரின் கோட்டப்பான்மை 1·33. அப்பொருளின் தோற்றநிலையைக் காண்க.

$$\text{கோட்டப்பான்மை} = \frac{\text{மெய்யாழம்}}{\text{பொய்யாழம்}}$$

கணக்கின்படி கோட்டப்பான்மை = 1·33

மெய்யாழம் = 20 செ. மீ.

$$\text{ஆகையால் } 1{\cdot}33 = \frac{20}{\text{பொய்யாழம்}}$$

$$\text{அல்லது பொய்யாழம் } = \frac{20}{1{\cdot}33} = 15{\cdot}3 \text{ செ. மீ.}$$

எனவே, அப்பொருள் தண்ணீர் மட்டத்தினடியில் 15·3 செ. மீ. ஆழத்தில் இருப்பதாகக் காணப்படும்.

வினக்கள்

1. 'கோட்டப்பான்மை' என்ற பதத்திற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு கண்ணுடிப்பலகையின் கோட்டப்பான்மையை எவ்வாறு காணலாம்?

(அண்ணுமலை : 1932)

2. ஒரு கண்ணுடிப்பலகையின் கனம் 1 அங். இதன் ஒரு முகத்தின்மீதும் 60° சாய்ந்து விழும் ஒரு கிரணத்தின் போக்கைப் படம் வரைந்து காட்டுக. கண்ணுடியின் கோட்டப்பான்மை $\frac{3}{2}$.

3. ஒரு கண்ணுடிப்பலகைவழியாக ஒரு பொருளைப் பார்க்க அப்பொருள் $\frac{3}{8}$ அங். நெருங்கி வந்துவிட்டதாகத்தோன்றுகிறது. பலகையின் கனம் யாதாகும்? (கண்ணுடியின் $\mu = 1{\cdot}5$)

4. ஒளியின் கோட்ட விதிகளை எடுத்துக்கூறுக. ஒரு சமதளப் பரப்பிலே பிரதிபலனத்தால் ஏற்படும் ஒரு பொருளின் படிவத்திற்கும் அப்பொருளுக்கும் உள்ள தூரத்தைப்பற்றிய உறவை வடித்துக்காட்டவும்.

தண்ணீரிலே ஒருபுறம் சாய்வாக முழுக்கிப்பிடிக்கும் ஒரு கோல், நீர்மட்டத்தில் ஒடிந்திருப்பது போலத் தோன்றுவதின் காரணம் யாது?

(சென்னை : செப். 1924)

5. 10 செ. மீ. சிறைகொண்ட செங்கட்டி வடிவமானதொரு கண்ணுடி மேஜைமீது வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதனடியில் உள்ள ஒரு புள்ளியை ஒருவன் செங்குத்தாகமேலே நின்று பார்க்கிருன். கண்ணுடியின் கோட்டப்பான்மை 1·52. எனவே புள்ளியின் தோற்ற

நிலையைக் காண்க. இப்புள்ளியிலிருந்து அவன் கண்ணிலே படும் ஒளிக்கற்றையைக் குறித்துக் காட்டுக. இந்தத் தோற்ற இடப்பெயர்ச்சியை எவ்வாறு பரிசோதனையால் நிர்ணயித்து, இதைக்கொண்டு கண்ணாடியின் கோட்டப்பான்மையைக் காணலாமென்று விளக்குக.

(சென்னை : மார்ச். 1925)

6. ஒளியின் பிரதிபலன, கோட்ட நியமங்களை எடுத்துக் கூறுக. படங்கள் வரைந்து, ஏன்

(a) ஒரு நேரான குச்சியின் ஒரு முனையைச் சிறிது சாய்த்துத் தண்ணீரிலே முழுக்கினால் அது ஒடிந்தது போலத் தோன்றுகின்றது என்றும்

(b) ஒரு குளத்து நீரை மேலேயிருந்து பார்த்தால் அதன் ஆழம் குறைவாகத் தோன்றுகிறது என்றும்

(c) சமதள ஆடியிலே புடை மாற்றம் (Lateral Inversion) ஏற்படுகிறது என்றும் விளக்குக.

(ஆக்ஸ் : 1932)

7. ஒரு அணுதரிசனியைக்கொண்டு திரவத்தின் கோட்டப்பான்மையைக் காணும் முறையை விளக்கி விவரித்துக் கூறுக.

(காசி : 1932)

8. ஒரு அச்சடித்த தாளின்மீது ஒரு கண்ணாடிக் கட்டி வைக்கப்பட்டது. அதன் மேல்முகத்தின் வழியாகப் பார்க்கும்போது எழுத்துக்களெல்லாம் மேலே யெழுந்து நிற்பதாகத் தோன்றுகின்றன. இந்த நிகழ்ச்சியைக் காரணம் காட்டி விளக்குக. இவ்வெழுத்துக்களின் தோற்ற நிலையை எவ்வாறு காணலாமென்று விவரித்துக் கூறுக. கட்டியின் கனம் 8 செ. மீ.

கண்ணாடியின் கோட்டப்பான்மை 1·5. எழுத்துக்கள் எவ்வளவு உயரம் மேலெழுந்து நிற்பதாகத் தோன்றும்.

(லண்டன் : 1922)

9. 'அவதிக்கோணம்', 'பூரண அந்தர பிரதிபலனம்' என்ற பதங்களை விளக்குக. ஒரு திரவத்தின் கோட்டப்பான்மையைக் காண்பதற்கானதொரு பரிசோதனையை விவரிக்கவும்.

கண்ணாடியிலிருந்து (கோ. பா. 1·55) தண்ணீருக்குள் (கோ. பா. 1·33) செல்லும் ஒளியின் அவதிக்கோணத்தைக் காண்க.

(அண்ணமலை : 1933)

10. 'அவதிக்கோணம்', 'பூரண பிரதிபலனம்' என்ற சொற்றொடர்களை விளக்குக.

'பூரண பிரதிபலன'த்தைக் காட்டுவதற்கானதொரு பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக. இப் பூரண பிரதிபலன நிகழ்ச்சியைக்கொண்டு, ஒரு பொருளின் கோட்டப்பான்மை காண்பதற்கான ஒரு முறையைக் குறித்திடுக.

(சென்னை : மார்ச், 1924)

11. 'பூரண அந்தர பிரதிபலனம்' என்றால் என்ன என்று விளக்குக.

ஒரு நேரக வடிவான கண்ணாடிப்பலகை, படத்தாள், ஒரு மில்லிமீட்டர் அளவி, குண்டூசிகள் இவற்றைக்கொண்டு (a) கண்ணாடியின் கோட்டப்பான்மை (b) பூரண அந்தர-பிரதிபலனக் கோணம் (c) இவ்விரண்டுக்குமுள்ள தொடர்பு ஆகிய இம்மூன்றையும் காணலாமென்று விளக்குக.

(சென்னை : அக். 1920)

12. ஒரு முப்பட்டையின் கோட்டக்கோணம் 30°. இதன் ஒரு முகத்தின்மீது ஒரு ஒளிக்கிரணம் செங்குத்தாகப் படுகிறது. முப்பட்டையின் கோட்டப்பான்மை 1·5. இக்கிரணத்தின் போக்கை முற்றிலும் படம் வரைந்துகாட்டி விளக்குக. அதன் விலக்கத்தைக் காண்க.

(லண்டன் : 1921)

13. ஒரு கண்ணாடி முப்பட்டையின் சிறைகள் $2\frac{1}{2}$ அங். நீளமுடையன. கோட்டக்கோணத்திற்கு 1 அங். தூரத்திலே ஒரு முகத்தின்மீது ஒரு ஒளிக்கிரணம் செங்குத்தாகப்படுகிறது. இக்கிரணத்தின் போக்கை முற்றிலும் படம் வரைந்து காட்டி விளக்கிக் கூறுக. (கண்ணாடியின் $\mu = \frac{3}{2}$)

(லண்டன் : 1922)

14. 1·5 கோட்டப்பான்மை கொண்ட ஒரு கண்ணாடி முப்பட்டை வழியாகச் செல்லுமொரு ஒளிக்கிரணத்தின் மோதுங்கோணம் 30°. வெளிப்படுகோணம் 60°. முப்பட்டையினுள்ளே ஒளிக்கிரணத்தின் பாதை ஒரு முகத்தோடு செய்யும் கோணம் முப்பட்டையின் முனைக்கோணத்திற்குச் சமமென்று காட்டுக.

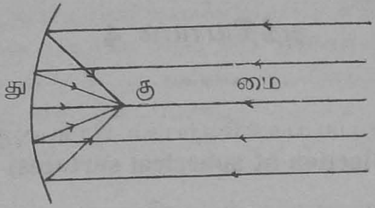
15. ஒரு சம சிறை முப்பட்டையிலே பல வேறு மோதுங்கோணங்களில் ஒளிக்கோட்டத்தை, குண்டூசி முறையினால் எவ்வாறு காணலாமென்று சுருக்கிக் கூறுக. இந்தப் பரிசோதனை எவ்வாறு நீச நிலை விலக்கத்தைக் காண்பதற்கு வழிகாட்டுகிற தென்பதையும் விளக்குக.

அத்தியாயம் 4

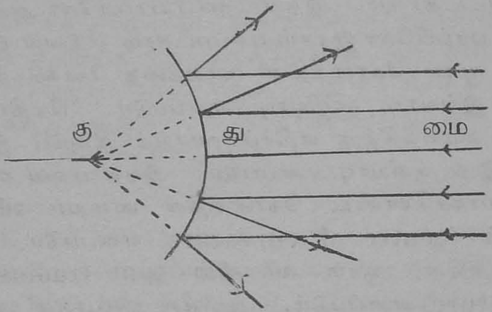
கோளப் பரப்புகளிலேற்படும் பிரதிபலனம்
(Reflection at spherical surfaces)

கோள ஆடிகள் :— கோள ஆடி என்பது கோளத்தினொரு பகுதியாகிய கண்ணாடியின்மீது இரசம் பூசப்பட்டதாகும். இதன் குவிப் பரப்பிலோ அல்லது குழிப் பரப்பிலோ இரசம் பூசப்படலாம். இவன் பிரதிபலன முகம் கோளத்தின் மையத்தை நோக்கி இருந்தால் இவ்வாடி குழியாடி எனப்படும். பிரதிபலன முகம் மையத்திற்கு எதிர்ப்புறமாய்த் திரும்பி இருந்தால் இது குவியாடி எனப்படும். இவ்வாடியை தனது பகுதியாகக்கொண்ட கோளத்தின் மையம் வளைவு மையம் (centre of curvature) எனப்படும். அக் கோளத்தின் ஆரம் வளைவின் ஆரம் (radius of curvature) எனப்படும். ஆடியின் நடுப்புள்ளி அதன் துருவம் (pole) எனப்படும். வளைவின் மையத்தையும் துருவத்தையும் சேர்க்கும் கோடு ஆடியின் பிரதம-இருசு (principal axis) எனப்படும். இந்த இருசின் வழியாகச் செல்லும் ஒருதளம் ஆடியை வெட்டுமிடம் அதன் பிரதம வெட்டுவாய் (principal section) எனப்படும்.

பிரதம குவியமும் (principal focus) குவிய-நீளமும் (focal-length) :—(படம் 278). ஒரு குழியாடியின் பிரதம இருசைச் சூழ்ந்து அதற்கு இணையானதொரு ஒளிக்கற்றை ஆடியிலே தாக்கினல், அவை யாவும்பிரதிபலித்து மீண்டு கு என்னுமொரு புள்ளியிலே வந்து குவிவதைக் காணலாம். இவ்வாறே ஒரு குவியாடியின் மீது தாக்குமொரு இணையான ஒளிக்கற்றை, பிரதி



படம் 278



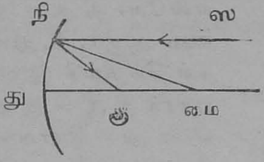
படம் 279

பலித்து மீண்டு கு என்னுமொரு புள்ளியிலிருந்து விரிந்து வெளிவருவதாகத் தோன்றும். (படம் 279). இந்த இரண்டிடத்தும் கு என்னும் புள்ளி ஆடியின் 'பிரதம-குவியம்' எனப்படும். ஆடியின் துருவத்திற்கும் அதன் பிரதம-குவியத்திற்கு மிடைப்பட்ட தூரம் 'குவிய நீளம்' எனப்படும்.

ஒரு கோள ஆடியிலே குவிய-நீளத்திற்கும் வளைவின்-ஆரத்திற்கும் உள்ள உறவைக் காண்போம்.

(படம் 280). து என்பது குழி ஆடியின் துருவம் என்றும், மை என்பது வளைவு-மையம் என்றும் கொள்வோம். து மை என்பது பிரதம-இருசு ஆகும்.

இந்த இருசுக்கு இணையான ஸ நி என்னுமொரு கிரணம் ஆடியிலே நி என்னுமிடத்திலே மோதுவதாகக் கொள்வோம். நி மை-யைச் சேர்க்க அது கோளத்தின் ஆரமாகையால் நி என்றவிடத்திலே ஆடிக்கு லம்பமாகும். இக்கிரணம் பிரதிபலித்து மீண்டு நி கு என்ற வழியேசெல்ல, கோணம் ஸ நி மை = கோணம் மை நி கு ஆகவேண்டும்.

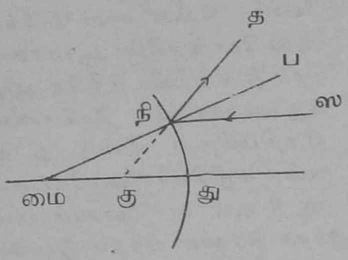


படம் 280

இந்தக் கிரணம் பிரதம இருசை கு என்ற இடத்திலே சந்திப்பதாகக் கொள்வோம். நிற்க, ஸ நி-யும் மை து-வும் இணையாகையால், கோணம் ஸ நி மை = மறுதலை (alternate) கோணம் நி மை து ஆகும். ஆனால் கோணம் ஸ நி மை = கோணம் மை நி கு என்று முன்பு கண்டோம். எனவே, கோணம் நி மை கு = கோணம் மை நி கு ஆகும். இதனால் கு நி = கு மை ஆகும். நிற்க நி, து-க்கள் நெருங்கி இருப்பதால் கு நி = கு து என்று கொள்ளலாம். அல்லது கு மை = கு து ஆகும். இதனால் கு என்பது து மை-யின் நடுப்புள்ளியாகும். எனவே கு என்பது, ஸ நி-யைப்போன்று இருசுக்கு இணையாக வந்து துருவத்திற்கு அருகே தாக்கும் எல்லா கிரணங்களுக்கும் பொதுவாகும். அதாவது கு என்பது இவ்வாடியின் குவியமாகும். மற்றும் குவிய நீளம் வளைவு ஆரத்திலே பாதியாகும் என்பதும் இதிலிருந்து விளங்குகிறது.

இது ஒரு குவியாடியானால் கோணம் ப நி ஸ = கோணம் ப நி த ஆகும். (படம் 281). ஸ நி-யும் து மை-யும் இணையாகையால் கோணம் ப நி ஸ = அநுநப (corresponding) கோணம் நி மை கு. மேலும் கோணம் ப நி த = முனை எதிர் (vertically opposite)க்

கோணம் மை நி கு இதனுல் கோணம் நி மை கு = கோணம் மை நி கு. எனவே, நி கு = கு மை ஆகும். நி, து-க்கள் நெருங்கி இருப்பதால் நி கு = கு து என்று கொள்ளலாம். ஆகையால் கு மை = கு து. அல்லது குவியநீளம் வளைவு ஆரத்திலே பாதியாகும்.



படம் 281

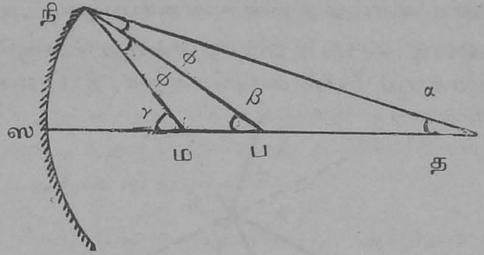
குறிகளைப்பற்றிய மரபு (Convention of signs): கோள ஆடிகளைப்பற்றிய கணக்குகளிலே குறியீடுகளுக்குத் தக்கபடியே முடிவும் இருக்கும். எனவே நாம் எப்போதும் ஏதேனுமொரு மரபைப் பின்பற்றினுல்தான் குழப்பம் நேராமல் இருக்கும். எனவே, நாம் கீழ்க் கண்ட இரண்டு மரபு விதிகளைக் கையாளுவோம்.

ஆடியின் துருவம் எப்போதும் தோற்றுவாயாகக் கொள்ளப்படும். இதிலிருந்து ஒளியின் எதிர்த்திசையில் அளந்தால் அதை மிகைக்குறியாகவும் ஒளியின் திசையிலேயே அளந்தால் குறைக்குறியாகவும் கொள்ளப்படும்.

கோள ஆடிகளிலே பொருள், வடிவம், குவியம் ஆகிய இம்மூன்றின் தூரங்களையும் காட்டும் உறவு.

குழியாடி :— (படம் 282). ஸ நி என்பது ஒரு குழியாடியின் வெட்டுவாய் என்றும், ப என்பது அதன் மையம் என்றும் கொள்வோம். த என்பது ஒரு சிறிய ஒளி ஊற்றுக்கண் என்று வைத்துக்கொள்வோம். தப-வை நீட்டிவிட்டு ஆடியை அது ஸ-வில் சந்திக்கும்படி

செய்யவும். த-விலிருந்து ஸ த-வுக்கு மிக நெருங்கிய வரு த நி என்னும் ஏதேனுமொரு கிரணத்தை வரைந்து அது ஆடியை நி-யிலே சந்திக்கச் செய்யவும். கோணம் நி த ஸ-வை α என்று குறிக்கவும். நி ப-வைச்



படம் **282**

சேர்க்க அது ஆரமாகையால் ஆடிக்கு நி-யிலே லம்பமாகவிருக்கும். கோணம் த நி ப $= \phi$ என்று கொள்வோம். இக்கிரணம் நி ம வழியாகப் பிரதிபலித்து மீளும்போது கோணம் ப நி ம $= \phi$ ஆகும். இந்த மீட்சிக் கிரணம் ஸ த-வை ம-விலே வெட்டுவதாகக் கொள்வோம். கோணம் நி ப ம-வை β என்றும், கோணம் நி ம ஸ-வை γ என்றும் குறிப்பிடுவோம். ஸ த, ஸ ப, ஸ ம என்வற்றின் மதிப்புகள் முறையே u, r, v என்று கொள்வோம். இற்க, படத்தைப் பார்த்தால்

$\beta = \phi + \alpha$, $\gamma = \phi + \beta$ என்பது தெரியும். இதனல் $\alpha + \gamma = 2\beta$ ஆகும்.

α, β, γ என்பன மிகச்சிறிய கோணங்களேயாகையால்

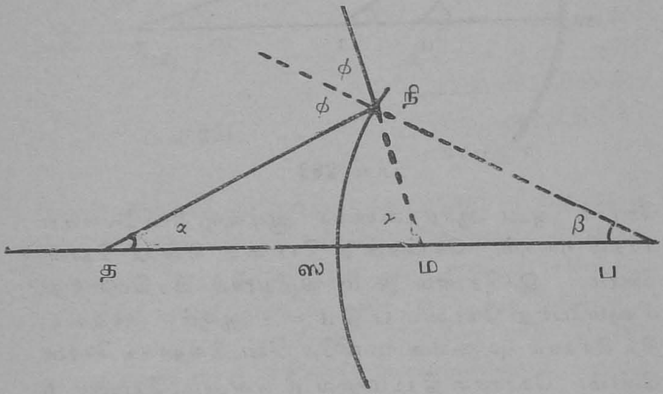
$$\alpha = \frac{\text{ஸ நி}}{u}, \ \beta = \frac{\text{ஸ நி}}{r}, \ \gamma = \frac{\text{ஸ நி}}{v}$$ என்று கொள்ளலாம்.

இவற்றை மேலே கண்ட சமீகரணத்திலே ஈடிடவே

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$$ என்ருகும்.

அதாவது ம-வின் நிலை நி-யின் நிலையைச் சார்ந்திருக்கவில்லை. எனவே த-விலிருந்து புறப்படும் ஒரு குறுகிய ஒளிக்கற்றையிலுள்ள கிரணங்களெல்லாம் ஆடியிலே பிரதிபலித்தபின்னர் ம-விலே வந்து குவியும். அதாவது ம என்பது த-வின் உண்மைப்படிவம் ஆகும்.

குவியாடி :—(படம் 283) த என்பது பொருளென்றும், ப என்பது கோள மையமென்றும், நி ம என்பது



படம் 283

பிரதிபலித்து மீண்ட கிரணம் பின்னால் நீட்டிவிடப்பட்ட திசையென்றும், ϕ என்பது மோதுங்கோணமென்றும் கொள்வோம். α, β, γ என்னும் கோணங்களைப் படத்திலே பார்த்துக்கொள்ளவும். ஸ த $= u$ ஸ ப $= r$, ஸ ம $= v$ என்றும் கொள்வோம். இங்கே v, r என்பன குறைக்குறியாகும். நிற்க,

$$\gamma = \beta + \phi, 2\phi = \alpha + \gamma. \quad \text{எனவே}$$

$$\gamma - \alpha = 2\beta; \alpha = +\frac{\text{ஸநி}}{u}\beta ; = -\frac{\text{ஸநி}}{r};$$

$\gamma = -\frac{\text{ஸநி}}{v}$ என்று கொள்ளலாம்.

இந்த மதிப்புகளை முன் சமீகரணத்தில் ஈடிட்டு ஸ நி-யால் முழுவதையும் வகுக்கவே $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$ ஆகிறது. இதிலும் ம-வின் நிலை நி-யின் நிலையைச் சார்ந்திருக்கவில்லை. எனவே, த-விலிருந்து இருசைச் சூழ்ந்து வெளிவரும் சிறிய தொரு ஒளிக்கற்றையி லுள்ள கிரணங்களெல்லாம், பிரதிபலித்த பிறகு ம-விலிருந்து விரிந்து வெளிப்படுவன போலத் தோன்று கின்றன. இதனால் ம என்பது த-வின் பொய்ப்படிவம் என்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது.

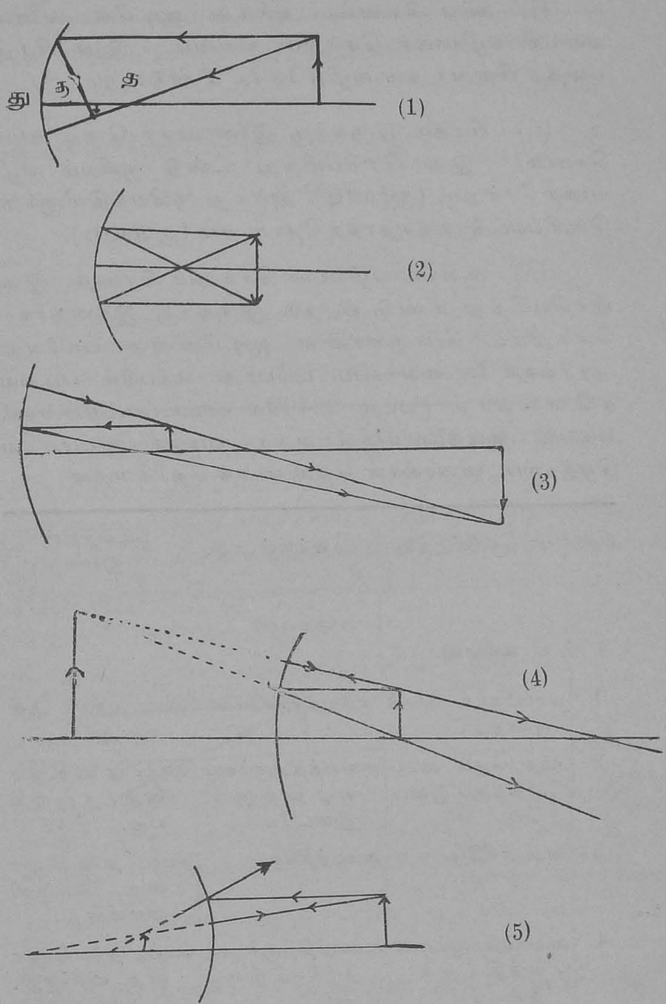
நிற்க, கோள ஆடிகளிலே அவற்றின் ஆரம் குவிய நீளத்திற்கு இரண்டுமடங்கு கொண்டது என்று முன்பு கண்டோம். குவிய நீளத்தை f என்று குறித்தால் $r = 2f$ ஆகும். இதைக் கோள ஆடிகளுக்குரிய வாய்பாட்டிலே ஈடிட்டால் $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ என்றாகும். இந்த ஒருவாய்பாடே குழி, குவியாடிகள் இரண்டிற்கும் செல்லுபடியாகுமென்று காண்கிறோம். ஆனால் இதில் தூரங்களுக்குட்பட்ட குறியீடுகளை நன்றாக நினைவுகூர வேண்டும்.

பிணையல் புள்ளிகள் (conjugate foci) :—மேலே நாம் செய்த விசாரணையிலே ஒளிக்கிரணங்கள் த-விலிருந்து புறப்படுவதற்குப் பதிலாக ம-விலிருந்து புறப்பட்டதாகக் கொண்டால், அவை பிரதிபலனத்தின் பின்னர் த-விலே சென்று குவியும், அல்லது த-விலிருந்து விரிந்து வெளிப்படுவதாய்க் காணப்படும் என்பதை எளிதிலுணரலாம். எனவே ம என்பது பொருளானால் த என்பது படிவமாகும். இதனால் த, ம என்னும் புள்ளிகள் பிணையல் புள்ளிகள் எனப்படும்.

கிற்க, த என்னும் பொருள் வரம்பிகந்த தூரத்திலே (infinite distance) இருந்தால் $\frac{1}{u}$ சூனியமாகும்.

எனவே $\frac{1}{v} = \frac{2}{r}$ ஆகும் அல்லது எல்லாக் கிரணங்களும் பிரதிபலனத்திற்குப் பின்னர் ஸ, ப-க்களுக்கு நடுமையமான கு என்னும் புள்ளியில் வந்து குவியும், அல்லது அதிலிருந்து விரிந்து வெளிப்படுவதாகத் தோன்றும். இப்புள்ளியே குவியமென்று நாம் முன்பு கண்டோம்.

ஒரு பருப்பொருளின் படிவத்தை வடிவியல் முறையால் காண:—இதுவரை நாம் ஒரு புள்ளியின் படிவத்தைக் காண்பதிலேயே ஈடுபட்டிருந்தோம். இப்போது நாம் ஒரு பருப்பொருளின் படிவத்தைக் கண்டறிய முயலுவோம். பருப்பொருளின் மீதுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியின் படிவத்தையும் தனித்தனியே கண்டு கூட்டினால் பருப்பொருளின் முழுப் படிவம் கிடைக்கும். கிற்க, எளிதாக இருப்பதற்காக நாம் நேர்கோட்டின் வடிவமுள்ள பருப்பொருள்களை எடுத்துக்கொள்வோம். அவற்றின் இரு முனைகளின் படிவங்களை மட்டும் கண்டால் போதுமானது. அவற்றினிடையே கோடிழுத்துப் படிவத்தைப் பூர்த்தி செய்துகொள்ளலாம். வடிவியல் முறைப்படி ஒரு தளத்திலே ஒரு புள்ளியை கிர்ணயிக்க வேண்டுமானால், அப்புள்ளியிலே சந்திக்கும் இரண்டு கோடுகளைக் கண்டால் போதுமானது. ஆகையால் நாம் பொருளின் ஒவ்வொரு முனையிலிருந்தும் புறப்பட்டு இரண்டு கிரணங்களை எடுத்துக்கொண்டு, அவற்றின் போக்கை கிர்ணயித்தால், அப்பொருளின் முழுப் படிவத்தைக் கண்டுவிடலாம். நாம் எடுத்துக் கொள்ளும் இரண்டு கிரணங்கள் கீழ்க்கண்டனவாக இருந்தால் எளிதாகும்.



படம் 284

(i) லம்ப கிரணம், அல்லது ஆடியின் வளைவு மையம் வழியாகச் செல்லும் கிரணம். இது பிரதிபலித்த பின்னர் தன் வழியிலேயே மீண்டுவரும்.

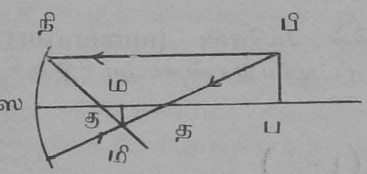
(ii) பிரதம இருசுக்கு இணையாகச் செல்லும் கிரணம். இது பிரதிபலித்து மீண்டு குவியம் வழியாகச் செல்லும் (குழியாடி), அல்லது குவியத்திலிருந்து வெளிப்பட்டு வருவதாகத் தோன்றும் (குவியாடி).

(iii) குவியம் வழியாகச் செல்லும் கிரணம். இது பிரதிபலித்து மீண்டு பிரதம இருசுக்கு இணையாகச் செல்லும். பொருளானது ஆடியினின்று பலவேறு தூரங்களிலே வைக்கப்பட்டபோது ஏற்படும் படிவங்களெல்லாம் (படம் 284)லே காட்டப்பட்டுள்ளன. கோள ஆடிகளைப்பற்றியவரை படிவங்களைப்பற்றிய கீழ்க்கண்ட விவரங்கள் தெளிவாகத் தெரிகின்றன.

எண்	பொருளின் நிலை	படிவத்தின் நிலை	படிவத்தின் இயல்பு
	குழியாடி		
1	வரம்பிகந்த தூரம் [கந்தழி]	குவியத்தின்மேல்	மெய், புள்ளி அளவினது.
2	கந்தழிக்கும் மையத்திற்கும் இடையே	குவியத்திற்கும்மையத்திற்கும் இடையே	மெய், தலைகீழானது, சுருங்கியது.
3	மையத்திலே	மையத்திலே	மெய், தலைகீழானது, பொருளினளவினது.
4	மையத்திற்கும்குவியத்திற்கும் இடையே	மையத்திற்கும் கந்தழிக்கும் இடையே	மெய், தலைகீழானது, விரிந்தது.

எண்	பொருளின் நிலை	படிவத்தின் நிலை	படிவத்தின் இயல்பு
5	குவியத்திற்கும் ஆடிக்கும் இடையே	ஆடியின் பின்னே கந்தழியிலிருந்து ஆடிவரை.	பொய், நிமிர்ந்தது, விரிந்தது.
	குவியாடி		
1	கந்தழி	குவியத்தின் மீது	பொய்.
2	கந்தழிக்கும் ஆடிக்குமிடையே	குவியத்திற்கும் ஆடிக்கும் இடையே	பொய், நிமிர்ந்தது, சுருங்கியது.

படிவத்தின் விரிவு அல்லது பெருக்கம் (Magnification) :—ஒரு பொருளின் ஏதேனுமொரு நீட்சி அளவையை எடுத்துக்கொண்டு அதனுல் படிவத்தின் அதே நீட்சி அளவையை வகுக்கவருவது, படிவத்தின் விரிவு அல்லது பெருக்கம் எனப்படும். நாம் ஒரு கோள ஆடியின் முன்னுல் வைக்கப்பட்டதொரு பொருளின் படிவத்தைக் கண்டு, அதன் பெருக்கத்தையும் கணக்கிடுவோம். ப பி என்ற ஒரு பொருள் ஸ நி என்ற ஆடியின் முன்னர் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகவும், கு, த என்பன முறையே அவ்வாடியின் குவியமும், மையமும் என்று கொள்வோம். (படம் 285). ப த-வைச் சேர்த்து அது ஆடியை ஸ-வில் சந்திக்கச் செய்வோம்.



படம் 285

பி என்ற புள்ளியிலிருந்து ப ஸ-வுக்கு இணையாக பி நி என்ற கிரணத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். இது ஆடியை நி-யில் சந்திப்பதாகக் கொள்வோம். இக் கிரணம் நி கு வழியாகச் செல்லும். எனவே, நி கு-வைச் சேர்த்து நீட்டிவிடவும். பி-யிலிருந்து ஆடியின் மையமாகிய த வழியாகச் செல்லுமொரு கிரணத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். இது பிரதிபலித்த பின்னர் தன் வழியே மீண்டுவரும். எனவே பி த-வைச் சேர்த்து நீட்டிவிடவும். இவ்விரண்டு கிரணங்களும் மி-யில் சந்திப்பதால் மி என்பது பி-யின் படிவமாகும். ப-வின் படிவம் ஸ ப என்ற இருசின் மீதே நிற்கும். மற்றும் ப பி, ஸ ப-வுக்கு லம்பமானல் அதன் படிவமும் ஸ ப-வுக்கு லம்பமாகும். எனவே மி-யிலிருந்து ஸ ப-வுக்கு மி ம என்ற லம்பம் வரைந்தால், அது ஸ ப-வைச் சந்திக்குமிடமாகிய ம, ப-வின் படிவமாகும். மற்றும் ம மி என்பது ப பி-யின் படிவமாகும்.

படிவத்தின் பெருக்கம் காண:—படத்திலே மமித, த பி ப என்பன வடிவொத்த முக்கோணங்கள். எனவே

$$\frac{\text{ம மி}}{\text{ப பி}} = \frac{\text{ம த}}{\text{த ப}} = \frac{r - v}{u - r}$$

இந்தப் பின்னத்தின் மேலெண் (numerator) கீழெண் (denominator) ஆகிய இரண்டையும் r இனல் வகுக்கவும்.

$$\frac{\text{ம மி}}{\text{ப பி}} = \frac{\frac{r - v}{r}}{\frac{u - r}{r}} = \frac{\left(1 - \frac{v}{r}\right)}{\left(\frac{u}{r} - 1\right)}$$

$$\text{இதையே } \frac{\text{ம மி}}{\text{ப பி}} = \frac{\left(\frac{v}{v} - \frac{v}{r}\right)}{\left(\frac{u}{r} - \frac{u}{u}\right)} \text{ என்றும்,}$$

$$= \frac{v\left(\frac{1}{v} - \frac{1}{r}\right)}{u\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{u}\right)}$$ என்றும் எழுதலாம்.

ஆனல் $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$ அல்லது

$\frac{1}{v} - \frac{1}{r} = \frac{1}{r} - \frac{1}{u}$ ஆகும்.

எனவே, மேல்கண்ட பின்னம் $\frac{\text{மமி}}{\text{பபி}} = \frac{v}{u}$ என்று சுருங்கும். இதுவே பெருக்கமாகும். குழியாடியின் மெய்ப்படிவத்திற்குக் கண்ட இதே வாய்பாடு குழியாடியின் பொய்ப்படிவத்திற்கும், குவியாடியின் படிவங்களுக்கும் பொருந்தும் என்பதை ஆராய்ந்து உணரலாம்.

குழிஆடியைக்கொண்டு செய்யும் சில பரிசோதனைகள்

வளைவின் ஆரத்தைக் காண :—ஒரு குழிஆடியின் முன்னர் ஒரு நீண்ட ஊசியை ஆடியின் இருசுக்கு லம்பமாகப் பிடித்துப் பார்த்தால் அதன் படிவம் கண்ணுக்குப் புலப்படும். இதற்கு ஆடியை ஒரு தாங்குகாலினல் நிமிர்வையாக நிறுத்திவைக்கலாம், அல்லது ஒரு பீடத்தின்மீது மல்லாக்கு இருக்கும்படி படுக்கைவாக்கிலே வைத்துவிடலாம். ஊசியைத் தக்கபடி ஒரு தாங்குகாலில் பிடிக்கப்பட்ட நெட்டித் துண்டிலே செருகி வைப்பது நலம். இந்த ஊசியை ஆடியின் குவியத்திற்கு வெளியே பிடிக்கவேண்டும். அப்போதுதான் ஊசியின் தலைகீழான மெய்ப்படிவம் கிடைக்கும். ஊசிக்கு அப்பால் கண்ணை வைத்துக்கொண்டு, ஊசியையும் அதன் படிவத்தையும் ஒருங்கே பார்த்துப்புடை

பெயர்ச்சி முறையினால், அவையிரண்டும் ஒரே நிலையில் நிற்கும்படி ஊசியின் நிலையைச் சரிப்படுத்தி வைக்கவும். இந்த நிலையிலே நாம் எங்கிருந்து பார்த்தாலும் ஊசியும் அதன் படிவமும் பிரிவுபடாமல் ஒன்றன்மீது மற்றொன்று படிந்தே தோற்றவேண்டும். இப்போது ஊசி ஆடியின் வளைவுமையத்தில் நிற்கிறது. (முன்கண்ட அட்டவணையைப் பார்க்கவும்). எனவே ஊசிக்கும் ஆடிக்கும் இடைப்பட்ட தூரமே அவ்வாடியின் வளைவு-ஆரம் ஆகும். இதை ஒரு அளவியினால் அளவிட்டுக் கொள்ளவும். ஒரு கோளமானியினுதவியால் ஆடியின் வளைவு-ஆரத்தைக் கணக்கிட்டு முன்கண்ட முடிபைச் சரிபார்க்கவும். இந்த ஆரத்தின் அளவிலே பாதி ஆடியின் 'குவிய நீளம்' ஆகும்.

ஒரு குழியாடியின் குவியநீளத்தைக் காண :—

(i) குழியாடியின் குவியநீளத்தைக் காணுவதற்குரிய சிறந்தமுறை, அதன்மீது ஒரு இணைகற்றையை அதன் இருசுக்கு இணையாக விழச்செய்து, பிரதிபலிப்பிற்குப் பின்னர்ச் சென்று கூடும் அக்கற்றையிலுள்ள கிரணங்களின் குவியத்தைக் காண்பதுவேயாகும். ஆடியை படுக்கை வாக்கிலே வைக்கப்பட்ட ஒரு அளவியின் ஒரு முனைக்கருகே நிமிர்வைபாக நிற்கும் V வடிவான சட்டகத்திலே ஏற்றிவைக்கவும். அளவியின் சூனியப்பிரிவிற்கு நேர்மேலே ஆடியின் துருவம் நிற்க வேண்டும். இப்போது நிமிர்வைபாக நிற்குமொரு அட்டைத்திரையை அளவியினருகே அதன்மேலே ஆடியின் நடுப்பகுதியை மட்டும் மறைக்கும்படியாக நிற்கவைக்கவும். நெடுந்தூரத்திலுள்ளதொரு பொருளின் மெய்ப்படிவமொன்று ஆடியின் குவியத்திலே தோன்றும். அட்டைத்திரையை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி இப்படிவம் திரண்டு தெளிவாக அதன்மீது தெரியும்படிச் சரிப்படுத்தவும். இப்போது திரைக்கும்

ஆடியின் துருவத்திற்குமிடைப்பட்ட தூரத்தை அளவியின்மீது அளந்து கண்டுகொள்ளவும். இதுவே ஆடியின் குவியநீளமாகும்.

(ii) $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ என்னும் பொது வாய்பாட்டைக்கொண்டும் ஆடியின் குவிய நீளத்தைக் காணலாம். u என்பது ஆடியிலிருந்து பொருள் நிற்கும் தூரமும், v என்பது அதன் படிவம் நிற்கும் தூரமும் ஆகும். f என்பது ஆடியின் குவியநீளம். இந்தப் பரிசோதனைகளிலே பிரகாசமானதொரு பொருள் வேண்டியிருக்கும். இதற்காக நிமிர்வையான ஒரு மரத் தட்டியிலே வட்டமான அல்லது சதுரமானதொரு சிறிய சாளரம் ஒன்று செய்து, அதை மெல்லிய கம்பிச் சல்லடையால் மூடி அதன் பின்னர் ஒரு விளக்கை வைப்பது வழக்கம். இவ்வாறு ஒளியிடப்பட்ட கம்பிச் சல்லடை ஒரு பிரகாசமான பொருளாக உதவும்.

குழியாடியை **V** வடிவான சட்டகத்திலே பொருத்தி, அதன் துருவமும் கம்பிச் சல்லடையும் ஒரே மட்டத்திலிருக்கும்படி ஏற்றிவைக்கவும். இவற்றைச் சேர்க்கும் கோட்டிற்கு ஒரு புறத்திலே, ஆடியின் இருசு விலகி இருக்கும்படி ஆடியைச் சற்றே திருப்பிவைக்கவும். கம்பிச் சல்லடையை ஆடியிலிருந்து சுமார் ஒரு மீட்டர் தூரத்தில் வைக்கவும். வெண்மையான மெல்லிய அட்டையை நிமிர்வையாக நிறுத்தி படிவத்தை ஏற்றுக் கொள்ளுவதற்காக அதை யொரு திரையாக உபயோகிக்கவும் இத்திரையின்மீது படிவத்தை ஏற்று, அந்தப் படிவம் திரண்டு விளக்கமாகத் தெரியும்படி திரையை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி, அதன் நிலையைச் சரிப்படுத்தி வைக்கவும். ஆடிக்கும் கம்பிச் சல்லடைக்கும் இடைப்பட்ட (u) என்ற தூரத்தையும்,

ஆடிக்கும் திரைக்கும் இடைப்பட்ட (v) என்ற தூரத்தையும் அளவிட்டுக்கொள்ளவும்.

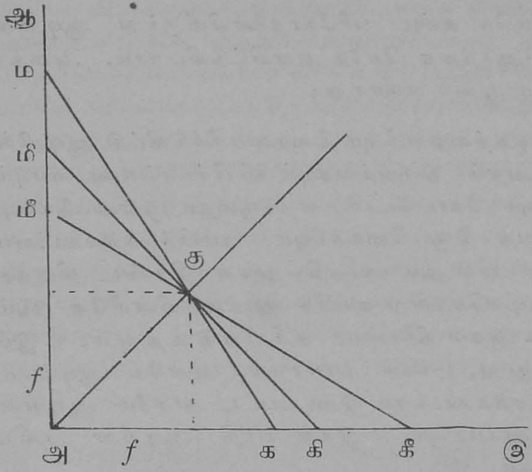
கம்பிச் சல்லடையின் நிலையைப் பலவிதமாக மாற்றி அவ்வப்போதும் திரையின் நிலையைக் கண்டு u, v என்னும் தூரங்களை அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும். இதிலே கண்ட முடிவுகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு அட்டவணைப் படுத்தவும்.

எண்	u	v	$\frac{1}{u}$	$\frac{1}{v}$	$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$

கடைசிக் கலத்தில் வரும் ஈவுகள் ஏறக்குறைய ஒன்றாயிருப்பதைக் காணலாம். இவற்றின் பொதுமையைக் கண்டு அதனுடைய முறை மாறலைக் கணக்கிட்டால் அதுவே ஆடியின் குவியநீளமாகும். f-ன் மதிப்பை ஒவ்வொரு ஜதை u, v-க்களின் மதிப்புகளைக் கொண்டு கணக்கிடுவதற்குப் பதிலாக அவற்றை ஒரு சதுரங்கத்தாளிலே உருவகப் படுத்தி, அதிலிருந்து f-ன் மதிப்பைக் கண்டுவிடலாம்.

ஒரு சதுரங்கத்தாளிலே 'படுக்கை' இருசின் நெடுக u, u_1, u_2 .. என்னும் அளவுகளை க, கி, கீ...என்னும் புள்ளிகளால் குறித்துக்கொள்ளவும். (படம் 286). நிலுவை இருசின்நெடுக v, v_1, v_2... என்னும் அளவுகளைக் காட்ட ம, மி, மீ...என்பவற்றைக் குறித்துக்கொள்ளவும். ஒன்றுக்கொன்று அநுரூபமான (correspond-

ing) புள்ளிகளைச் சேர்க்கவும். கம, கிமி, கீமீ........ என்ற கோடுகள் ஆ அ இ என்னும் கோணத்தின்



படம் 286

ஈராரியாகிய அ கு என்ற கோட்டின் மீது கு என்றவிடத்தில் சந்திக்கும். இவ்வாறு சந்திக்கும் புள்ளியைக் காணவும். இப்புள்ளியின் ஆயங்களே ஆடியின் குவிய நீளத்தைக் குறிக்கும்.

மற்றும் (uv), (u_1v_1), (u_2v_2) ...... என்பவற்றை முறையே ஆயங்களாகக்கொண்ட புள்ளிகளை ஒரு உருவகத்திலே பொறித்து அவைகளைச் சேர்க்க ஒரு கோட்டை வரையவும். இது தன் இரு கைகளாலும் துணையாய இருசுகளைத் தழுவிச்செல்லும் ஒரு வளைவு கோடாகவிருக்கும். இதிலே ஆ அ இ என்ற கோணத்திற்கு ஒரு ஈராரி வரையவும். இது வளைவுகோட்டை கு என்ற இடத்திலே சந்திப்பதாகக் கொள்வோம். கு-வின் ஆயங்களைக் கண்டால் அவை ஆடியின் வளைவு

-ஆரத்தைக் காட்டும். எனவே, அதில் பாதி ஆடியின் குவிய நீளமாகும்.

மேலே கண்ட பரிசோதனையிலிருந்து ஆடியின் வளைவு-ஆரத்தை நேரே அளவிட்டுவிடலாம். அதைச் செய்யும் முறை வருமாறு:

படிவத்தை ஏற்கும் திரையை நீக்கிவிட்டு ஆடியின் இருசு அதன் துருவத்தையும் கம்பிச் சல்லடையையும் சேர்க்கும் கோட்டோடு ஏறக்குறைய ஒன்றுபடும்படி ஆடியைத் திருப்பிவைக்கவும். கம்பிச் சல்லடையை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி, அதன் திரண்ட விளக்கமான படிவமொன்று கம்பிச் சல்லடையின்மீதே படும்படியாக அதன் நிலையைச் சரிப்படுத்தவும். இப்பொழுது u, v-க்கள் சமமாகும். எனவே ஆடிக்கும் கம்பிச் சல்லடைக்கும் இடைப்பட்ட தூரமே ஆடியின் வளைவு-ஆரமாகும். இதன் பாதி ஆடியின் குவிய நீளமாகும்.

குழி ஆடியிலே படிவங்களின் நிலைகளைப் புடைபெயர்ச்சிமுறையினால் நிர்ணயித்தல்:—புடைபெயர்ச்சி முறையினால் மெய், பொய்யாகிய இரண்டு வகைப் படிவங்களின் நிலைகளையும் நிர்ணயித்துவிடலாம். ஒரு குழி ஆடியை நிமிர்வையாக நிற்கும்படி **V** வடிவான சட்டகத்திலே ஏற்றிவைக்கவும். அதன் வளைவு மையமாகிய த என்னும் புள்ளியைச் சுமாராகக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். அதனருகே அதற்குட்பட்டிருக்கும்படி ப என்னும் ஒரு நீண்ட ஊசியைச் செங்குத்தாக நிறுத்தி வைக்கவும். இந்த ஊசியின் முனை ஆடியின் இருசின் மீது இருக்கவேண்டும். இப்போது இவ்வூசியின்படிவம் த-வைத் தாண்டி விழும். எனவே, அதற்கப்புறம் எட்டி நின்றுகொண்டு ம என்னுமொரு ஊசியைச் செங்குத்தாக அதன் முனை இருசின்மீது படும்படி பிடித்

துக்கொண்டு, ஆடியின் இருகின் நெடுக பார்வையைச் செலுத்தி, ப-வின் படிவம், ம ஆகியவற்றை நோக்கவும். இப்போது கண்ணைச் சிறிது இடப்புறம் வலப்புறமாக அசைத்து ப-வின் படிவத்திற்கும் ம-வுக்கும் இடையிலேற்படும் புடைபெயர்ச்சியைக் கண்டு, அதற்குகந்தபடி ம-வின் நிலையைச் சரிப்படுத்தி, எந்நிலையிலிருந்து பார்த்தாலும் ப-வின் படிவமும் ம-வும் பிரிவுபடாமல் ஒன்ருகத் தொடர்ந்து தோன்றும்படி செய்யவும். ஆடியின் துருவத்திலிருந்து ப-வின் தூரத்தை அளக்க அது u ஆகும். ம-வின் தூரத்தை அளக்க அது υ ஆகும். நிற்க, ப-வை ஆடியை நோக்கிச் சற்றே நகர்த்தி மறுபடியும் ம-வின் நிலையைக் காணவும். இவ்வாறே பன்முறையும் செய்து, அவ்வப்போதும் u, υ-க்களை அளவிட்டு அவற்றைக்கொண்டு ஆடியின் குவியநீளத்தைக் காணலாம்.

போய்ப்படிவத்தின் நிலையைக் காணும் முறை வருமாறு:—இதற்கு ஆடியின் துருவப்பிரதேசத்திலே சிறிதளவு இரசப்பூச்சை நீக்கிவிடவேண்டும். ப என்னும் ஊசியை ஆடிக்கும் அதன் குவியத்திற்கும் இடையே நிறுத்திவைக்கவும். இதன் விரிந்த பொய்ப் படிவமொன்று ஆடியின் பின்னல் நிமிர்ந்து காணப்படும். ம என்னும் ஊசியை ஆடியின் பின்னல் அதன் நடுப்பாகம் துருவத்திற்கு நேராக இருக்கும்படி நிமிர்த்துப் பிடிக்கவும். ஆடியின் முன்னல் நின்றுகொண்டு அதன் இருசுவழியே பார்வையைச் செலுத்தி ப-வின் படிவத்தையும், இரசம் நீக்கப்பட்ட இடுக்கு வழியாக ம என்னும் ஊசியையும் பார்த்து, அவையிரண்டும் தொடர்ந்து ஒன்ருகத் தோன்றும்படி வைத்து, அவற்றினிடையே புடைபெயர்ச்சி நிகழாதபடி ம-வின் நிலையைச் சரிப்படுத்தவும். u, υ என்னும் தூரங்களை அளவிடவும். ப-வின் நிலையைத் துருவத்

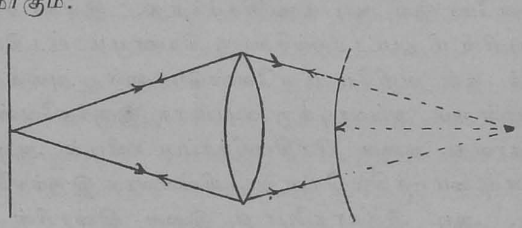
திற்கும் குவியத்திற்குமிடையே பலவாறு மாற்றி, அவ்வப்போதும் ம-வின் நிலையைக் கண்டு u, v-க்களை அளவிடவும். $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ என்னும் வாய்பாட்டினால் குவியநீளத்தைக் கணக்கிடவும்.

குவி ஆடியைக்கொண்டு செய்யும் சில பரிசோதனைகள் :—குவி ஆடியில் ஏற்படும் படிவங்கள் எப்போதும் பொய்-இயல்பு வாய்ந்தவை. எனவே, இதிலே கிடைக்கும் படிவங்களைத் திரையின்மீது ஏற்கமுடியாது. ஆகையால் படிவங்களின் நிலையைப் புடைபெயர்ச்சி முறையினால் மட்டுமே நிர்ணயிக்கமுடியும். இதற்காக குவிஆடியின் துருவத்திற்கருகே சிறிதளவு இரசப்பூச்சை நீக்கிவிடவும். இதையொரு V-வடிவான ஒரு சட்டகத்தில் நிமிர்வையாக ஏற்றி வைக்கவும். இதன் முன்னால் ஒரு நீண்ட ஊசியைச் செங்குத்தாக ஏற்றி நிறுத்தவும். இதன் படிவம் ஆடியின் பின்னாலிருப்பதாகத் தோன்றும். இரசம் நீக்கப்பட்ட இடத்திற்கு நேராக இப்படிவத்திலே ஒரு இடைவெளி தோன்றும். ம என்னுமொரு ஊசியை ஆடியின் பின்புறத்திலே நிறுத்திவைத்து, இருசின் நெடுக பார்வையைச் செலுத்தி, ப-வின் படிவம் ம ஆகியவற்றைப் பார்க்கவும். படிவத்தில் தோன்றிய இடைவெளியை ம-வின் நடுப்பகுதி நிரப்பி நிற்கும்படி செய்து, புடை பெயர்ச்சி முறையினால் ப-வின் படிவத்திற்கும் ம-விற்கும் ஒத்த தொடர்பியக்கம் இல்லாது, அவையிரண்டும் ஒரே நேர்கோட்டிலே தொடர்ந்து ஒன்றித் தோன்றும்படி ம-வின் நிலையைச் சரிப்படுத்தவும். ஆடியின் துருவத்திற்கும் ப-வுக்கும் இடைப்பட்ட u என்ற தூரத்தையும், துருவத்திற்கும் ம-வுக்கும் இடைப்பட்ட v என்ற தூரத்தையும் அளவிட்டுக் கொள்ளவும். ப-வின் நிலையைப் பலவாறு மாற்றி, அவ்வப்போதும் ம-வின் நிலையைக் கண்டு, u, v-க்களை அள

விட்டுக்கொள்ளவும். $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ என்னும் வாய்பாட்டினுதவியால் f என்னும் குவியநீளத்தைக் கணக்கிட்டு அதன் பொதுமை காணவும்.

மற்றும் u, v-க்களின் மதிப்புகளை முறையே OX, OY என்னும் இருசுகளின் நெடுகக் குறிப்பிட்டு ஜதைப் புள்ளிகளை ஒன்றுசேர்த்து, இக்கோடுகளெல்லாம் XOY என்னும் கோணத்தின் ஈராரியாகிய கோட்டின் மீதுள்ள கு என்னும் ஒரே புள்ளியிலே சந்திக்கின்றனவா என்று பார்க்கவும். அதன் ஆயங்களைக் காணவும். அவை ஒவ்வொன்றும் ஆடியின் குவிய நீளத்தைக் காட்டும்.

அல்லது $(u_1\ v_1)$, $(u_2\ v_2)$, $(u_3\ v_3)$ என்னும் புள்ளிகளை ஒரு உருவகத்திலே பொறித்து அவற்றை ஒரு மெல்லிய கோட்டினால் சேர்த்து, XOY என்ற கோணத்தை Oகு என்ற கோட்டினால் இரு சம கூறுக்கவும். Oகு இந்த உருவகத்தைக் குறுக்கிடும் இடமாகிய கு என்ற புள்ளியைக் கண்டு, அதன் ஆயங்களைக் காணவும். அவை ஒவ்வொன்றும் ஆடியின் வளைவு ஆரத்தைக் காட்டும். எனவே இதன் பாதி ஆடியின் குவிய நீளமாகும்.



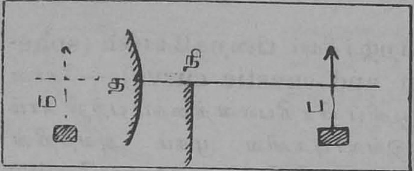
படம் 287

குவியாடி குவியநீளத்தைக் காணும் மற்றொரு முறை வருமாறு :—(படம் 287). முன்னே கூறப்பட்ட

கம்பிச் சல்லடையின் பின்னால் விளக்கை வைத்து, அதற்கு வெளிச்சமிட்டு, அதன் முன்னே ஒரு குவி வில்லையை வைக்கவும். இவ் வில்லைக்கு பின்னால் கம்பிச் சல்லடையின் மெய்ப்படிவம் ஒன்றுண்டாகும். அதை யொரு திரையின் மீது ஏற்கவும். இப்படிவம் நன்றா கத் திரண்டு தெளிவாய் இருக்கும்படியாகத் திரையின் நிலையைச் சரிப்படுத்தவும். இப்போது குவியநீளம் காணவேண்டிய குவி ஆடியை, வில்லைக்கும் படிவத்திற் கும் இடையே வைத்து, வில்லைக்குப் பின்புறத்திலே தோன்றும் சல்லடையின் மெய்ப்படிவத்தை, கம்பிச் சல்லடையின் மீதே திரண்டு தெளிவாக விழும்படியாக ஆடியின் நிலையை முன்னும் பின்னுமாக நகர்த்திச் சரிப்படுத்தவும். இப்போது ஆடிக்கும், முன்னால் வைத்த திரைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை அளவிட வும். அதுவே ஆடியின் வளைவு-ஆரமாகும். எனவே இதில் பாதி ஆடியின் குவியநீளமாகும்.

இப்பரிசோதனையின் தத்துவம் வருமாறு. பொரு ளும் படிவமும் ஒரே இடத்திலிருப்பதால், பொருளி லிருந்து புறப்பட்ட கிரணங்கள் பிரதிபலித்துத் தம் வழியே மீண்டு வந்திருக்கவேண்டும். இப்பிரதி பலனமோ குவி ஆடி மீது நிகழ்ந்தது. இவ்வாறு குவி ஆடியின் மீதுபட்ட ஒவ்வொரு கிரணமும் பிரதிபலித் துத் தன் வழியே மீளவேண்டுமானால், அவை ஒவ் வொன்றும் அவ்வாடிக்கு லம்பமாக இருக்கவேண்டும். அதாவது அவை பிரதிபலிக்கப்படாவிடில் ஆடியின் வளைவு மையத்தில் சென்று குவிவனவாக இருக்கவேண் டும். ஆடி இல்லாதபோது இவை திரையின் மீது சென்று குவிந்தன. எனவே ஆடியின் துருவத்திற்கும் திரைக்கும் இடைப்பட்ட தூரமே அதன் வளைவு ஆர மாகும்.

குவி ஆடியிலே படிவத்தின் நிலையைக் காணும் மற்றொரு முறை வருமாறு:—(படம் 288). த என்னும் ஒரு குவி ஆடியை v வடிவமான சட்டகத்தின் மீதேற்றி நிறுத்திவைக்கவும். இதன் முன்னே சற்று தூரத்திலே நி என்ற ஒரு சமதள ஆடித் துண்டையும் நிறுத்தி வைக்கவும். இவ்விரண்டு ஆடிகளும் ஒரே திசையை நோக்கி நிற்க வேண்டும். மற்றும் நி என்ற ஆடி, குவி ஆடியின் கீழ்ப்பாதியை மட்டும் மறைக்கும்படியாக வைக்கப்பட வேண்டும். இவற்றின் முன்னிலையிலே ப என்ற ஒரு நீண்ட ஊசியை, அதன் ஒரு பாதி குவி ஆடியின் இருசு மட்டத்திற்கு மேலும், மற்றொரு பாதி அதற்குக் கீழுமாக இருக்குமாறு, நிறுத்திப் பிடிக்கவும். இப்போது இந்த ஊசியின் மேற்பாதியின் படிவம் குவி ஆடியிலும் கீழ்ப்பாதியின் படிவம் சமதள ஆடியிலும் தெரியும். இவையிரண்டையும் பார்த்துக்கொண்டு, ஊசியை அப்படியே நிறுத்திவிட்டு, ஊசியின் இருபடிவப் பகுதிகளும் ஒன்றித் தொடர்ந்து தோன்றும்படியும், எவ்விடத்திலிருந்து நோக்கினாலும் அவை பிரிந்துகாட்டாமல் இருக்கும்படியும் புடைபெயர்ச்சி முறையினால் கண்டு, சமதள ஆடியின் நிலையைச் சரிப்படுத்தி வைக்கவும். இப்போது இரண்டு படிவங்களும் ஒரே இடத்திலிருக்கின்றன. ஆனால் சமதள ஆடிக்கும் ஊசிக்கும் இடைப்பட்ட நி ப என்ற தூரமும், அதே ஆடிக்கும் படிவத்திற்கும் இடைப்பட்ட தூரமும், சமமென்பதை நாமறிவோம். எனவே குவி ஆடிக்குப் பின்னால்

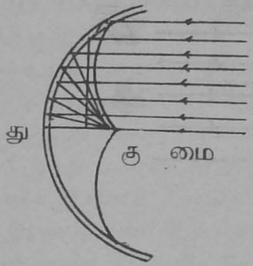


படம் 288

படிவம் நிற்கும் தூரம் v = நி ப — நி த ஆகும். ஆனால் u = தப ஆகும். எனவே $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ என்ற வாய்பாடு $\frac{1}{\text{நிப}-\text{நித}}+\frac{1}{\text{தப}}=\frac{1}{f}$ என்றாகும். ப-வின் நிலையைப் பலவாறு மாற்றி இப்பரிசோதனையைப் பன்முறை செய்து f-இன் பொதுமை மதிப்பைக் காணவும்.

கோளவியற் பிறழ்ச்சியும் பிறைக்கோடும் (spherical aberration and caustic curve) :—கோள ஆடிகளிலேற்படும் ஒளிப் பிரதிபலனத்தைப் பற்றி நாம் விசாரித்தபோது இவ்வாடிகளின் முகம் அவற்றின் வளைவு-ஆரங்களை நோக்கச் சிறியதாய் இருக்கவேண்டுமென்று கண்டோம். இவ்வாறு சிறிய முகங்கொண்ட ஆடியின்மீது இருசுக்கு இணையாக வந்து தாக்குமொரு இணைக்கற்றையே பிரதிபலித்து மீண்டு, குவியத்தில் சென்று குவியுமென்றும், இதன் இருசிலுள்ளதொரு ஊற்றுக்கண்ணிலிருந்து வெளிப்படும் குறுகிய ஒளிக் கற்றை பிரதிபலித்தபின்னர், அதற்குப் பிணையல் குவியமான மற்றொரு புள்ளியில் சென்று குவியுமென்றும் கண்டோம். இவ்வாடியின் முகம் சிறியதாய் இருக்க வேண்டிய அவசியத்தைச் சற்றுக் காண்போம். இம் முகம் பெரியதாய் இருப்பின், இருசுக்கு இணையாக அதற்கு வெகுதூரத்தில் விலகிவரும் ஒரு ஒளிக்கிரணம், பிரதிபலித்தபின்னர், குவியத்தின் வழியாகச் செல்லாது என்பது வடிவியலால் நன்கு விளங்கும். அவ்வாறு வரும் ஒவ்வொரு கிரணமும் இருசை வெவ்வேறு புள்ளியிலே சந்திக்கும். இவ்வாறு விளிம்பிலுள்ள கிரணங்கள் பிரதிபலித்த பின்னர் குவியத்தினின்று விலகிச்செல்வது 'கோளவியற் பிறழ்ச்சி' எனப்படும். ஆனால் இவ்வாறு செல்லும் கிரணங்களிலே அடுத்தடுத்துள்ள கிரணங்கள் வெட்டுமிடம் ஒரு வளைவு கோட்

டின் மீது வரிசையாக இருக்கும். இவ்வளவு கோடு குவியத்திற்கும் இருபுறமும் சமசீராக நிற்கும். இரண்டு கிளைகளையுடையது. (படம் 289). இக்கிளைகளே பிரதிபலனத்தால் ஏற்பட்ட பிறைக் கோடுகள் எனப்படும். கோள ஆடிகளிலேற்படும் இப்பிறை மிகவும் முக்கியமானது. இப்பிறையைக் குறைக்கவேண்டுமானல் ஆடியின் முகத்தைச் சிறியதாக்கவேண்டும். அல்லது அதன் விளிம்புகளை ஒளி தகைக்கும் தாளைக்கொண்டு மறைத்துவிடவேண்டும். இவ்வாறு செய்தால் படிவங்களின் கூர்மையும், விளக்கமும் அதிகமாகும்.

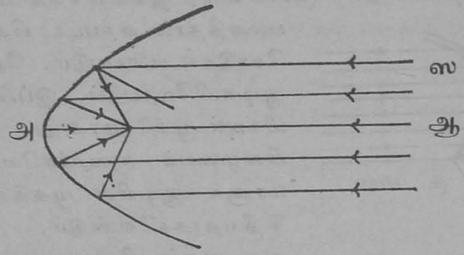


படம் 289

இணைக்கவட்டு ஆடிகள் (Parabolic mirrors):— இணையானதொரு ஒளிக்கற்றையை முற்றிலும் கோளப் பிறழ்ச்சி சிறிதுமின்றி ஒரே புள்ளியில் சென்று குவியும்படி செய்வதற்கும், ஒரு புள்ளியிலிருந்து விரிந்து வெளிப்படும் ஒளிக்கிரணங்களை இணைக்கற்றையாகச் செய்வதற்கும், இணைக்கவட்டு ஆடிகள் சிறந்த சாதனங்களாகும்.

படத்திலே (படம் 290) வரையப்பட்டுள்ளதொரு இணைக்கவட்டு ஆடியிலே அ ஆ என்பது அதன் இருசு எனப்படும். இதற்கு இருபுறமும் கவடு சமசீர்மையாய் இருக்கும். அதன் மீதுள்ள கு என்னும் ஒரு புள்ளி அதன் குவியமெனப்படும். இணைக்கவட்டு வரையின் சிறப்பியல்பாவது:—அதன் மீதுள்ள நி என்னும் ஏதேனுமொரு புள்ளியிலிருந்து ஒரு லம்பம் வரைந்தால், இப்புள்ளியிலிருந்து இருசுக்கு இணையாக வரைந்த நி ஸ என்ற கோட்டிற்கும், குவியத்தோடு

அப்புள்ளியைச் சேர்க்கும் நி கு என்ற கோட்டிற்கும் இடைப்பட்ட ஸ நி கு என்ற கோணத்தை, அந்த லம்

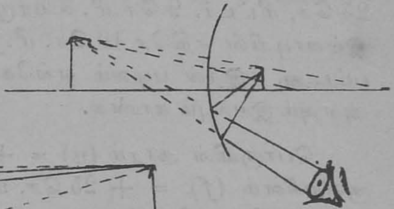


படம் 290

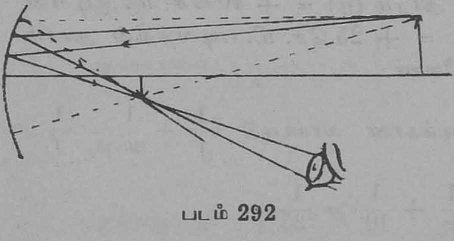
பம் இரு கூறுக்கும். ஆகையால் ஸ நி என்ற திசையிலே வரும் ஒரு ஒளிக்கிரணம், நி என்ற இடத்திலே பிரதிபலித்த பின்னர், கு என்ற குவியத்தையடையும் என்பது தெளிவு. எனவே இருசுக்கு இணையானதொரு ஒளிக்கற்றையிலுள்ள எல்லா ஒளிக்கிரணங்களும், பிரதிபலித்த பின்னர், கு என்ற குவியத்திலே வந்துகூடும். இவ்வாறே கு என்ற குவியத்திலிருந்து விரிந்து வெளிப்படும் எல்லாக் கிரணங்களும், பிரதிபலித்த பின்னர், இருசுக்கு இணையானதொரு ஒளிக்கற்றையாகச் செல்லுமென்பதும் தெளிவு. இவ்வாறு இணையாகச் செய்யப்பட்டதொரு ஒளிக்கற்றை நெடுந்தூரம் கடந்துசென்றாலும் விரிவடைவதில்லை யாகையால், வருக்க எதிர்விகித விதிப்படி, தூரத்தினுல் ஏற்படும் ஒளிக்குறைவு அதில் நிகழ்வதில்லை. இதனுல் புகைவண்டி என்ஜின் முகத்திலும், கப்பலிலும், இத்தகைய இணைக்கவட்டுப் பிரதிபலன ஆடிகளைக்கொண்ட பிரகாசமான விளக்குகள் கையாளப்படுகின்றன. ஆனுல் கணக்கியல் முறைப்படி திருத்தமான வளைவு கொண்ட இணைக்கவட்டு ஆடிகளை இயற்றுவது மிக

அருமை. ஆகையால் அவற்றின் விலை மிகவும் அதிக மாக இருக்கிறது.

ஒரு கோள ஆடியிலேற்படும் படிவம் கண்ணுக் குப் புலப்படுவதற்குக் காரணமான கிரணங்களின் போக்கை வரைதல் :—சமதள ஆடிகளுக்குக் கண்ட தத்துவத்தையே இங்கும் கையாளவேண்டும். முறைப் படி படிவத்தின் நிலையைக் காணவும். படிவத்தில் ஏதேனுமொரு புள்ளியை எடுத்துக்கொண்டு, அதி லிருந்து கண்ணினது இரு விளிம்புகளையும் தொடும்படி யாக இரண்டு கோடுகளை வரையவும். இவை ஆடியை இரண்டிடங்களில் வெட்டும். (வேண்டுமானல் இக்கிர ணங்களை நீட்டிவிட்டுக்கொள்ளவும்). அந்த இரண்டு புள்ளிகளையும் பொருளிலுள்ள அநுரூபமான புள்ளி



படம் 291



படம் 292

யோடு சேர்த்துக் கோடுகள் இழுக்கவும். இக்கோடு கள் கிரணங்களின் வழியைக் குறிக்கும். (படம் 291). முதல் படம் ஒரு பொய்ப்படிவத்திற்குரிய ஒளிக்கிரணங் களின் பாதையைக் காட்டுகிறது. இரண்டாவது (படம் 292) ஒரு மெய்ப்படிவத்திற்குரிய கிரணங் களின் பாதையைக் காட்டுகிறது.

குறிப்பு :—கோள ஆடிகளிலேற்படும் ஒளிப் பிரதி பலனத்தின் சம்பந்தமாகக் கணக்குகள் போடும் பொழுது கீழ்க்கண்ட இரண்டு குறிப்புகள் ஞாபகத்தி லிருக்கவேண்டும்.

(1) முதலில் கோள ஆடிக்குண்டான பொது வாய்பாட்டை எழுதிக்கொள்ளவேண்டும்.

(2) v, u, f என்பவைகளுக்கு எண்கள் குறிக்கும் பொழுது அந்த தூரம் ஆடியிலிருந்து ஒளியின் எதிர்த் திசையிலளந்தால் அதை மிகைக்குறியுடனும், ஒளி யின் திசையிலே அளந்தால் குறைக்குறியுடனும் கொள்ளவேண்டும்.

உதாரணம் :—(1) ஒரு குழி ஆடியின் குவிய நீளம் 25 செ. மீட்டர். 9 செ.மீ. உயரமுள்ளதொரு பொருள் இவ்வாடியின் எதிரே 10 செ. மீ. தூரத்தில் வைக்கப் பட்டது. இதன் படிவம் எங்கே தோன்றும்? அதன் அளவும் இயல்பும் காண்க.

பொருளின் தூரம் $(u) = +10$ செ. மீ. ஆடியின் குவியநீளம் $(f) = +25$ செ. மீ. படிவத்தின் தூரம் v என்று கொள்வோம்.

கோள ஆடிக்கான வாய்பாடு $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

அதாவது $\frac{1}{v} + \frac{1}{10} = \frac{1}{25}$

அல்லது $\frac{1}{v} = -\left(\frac{1}{10} - \frac{1}{25}\right)$

அல்லது $v = -16{\cdot}6$ செ. மீ.

எனவே படிவம் ஆடியின் பின்னால் 16·6 செ. மீ. தூரத்தில் நிற்கும்.

இப்படிவத்தின் பெருக்கம் $= \frac{v}{u} = \frac{16 \cdot 6}{10} = \mathbf{1 \cdot 66}$.

பொருள் குவியத்திற்குட்பட்டிருப்பதால் நிமிர்ந்த பொய்ப் படிவம் தோன்றும்.

உதாரணம் 2. ஒரு குழியாடியின் குவிய நீளம் 6 அங். இதிலே ஒரு பொருளைப் போன்று 6 மடங்கு பெரிதான மெய்ப்படிவத்தைப் பெறவேண்டுமானல் பொருளை எவ்வளவு தூரத்திலே வைக்கவேண்டும்.

படிவத்தின் பொருக்கம் m

$$= \frac{\text{படிவத்தின் தூரம் } v}{\text{பொருளின் தூரம் } u} = 6 \text{ (கணக்கின்படி)}$$

எனவே $v = 6u$.

நிற்க, ஆடியின் குவிய நீளம் $f = 6$ அங். இவ்வாடியின் குவிய வாய்பாடு

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

ஆனல் $v = 6u$.

ஆகையால் $\frac{1}{6u} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

அல்லது $\frac{7}{6u} = \frac{1}{f}$

அல்லது $u = \frac{7}{6}f = 7''$.

எனவே பொருளைப் போன்று 6 மடங்கு பெரிதான படிவத்தைப் பெறவேண்டுமானல் பொருளை ஆடியினின்று 7 அங். தூரத்திலே வைக்கவேண்டும்.

உதாரணம் 3. 20 செ. மீ. ஆரமாகக்கொண்டதொரு குவி ஆடியினின்றும் 20 செ. மீ. தூரத்திலே

ஒரு குண்டூசி நிறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. படிவத்தையும், நிலையையும், பெருக்கத்தையும் காண்க.

கோள ஆடிகளிலே $2f = r$. இதில் f என்பது குவிய நீளம், r என்பது ஆரம்.

எனவே மேற்கண்ட ஆடியின்

குவிய நீளம் $\frac{r}{2} = 10$ செ. மீ.

இதன் வாய்பாடு $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$.

அதாவது, $\frac{1}{v} + \frac{1}{20} = -\frac{1}{10}$

அல்லது $\frac{1}{v} = -\left(\frac{1}{10} + \frac{1}{20}\right) = -\frac{3}{20}$

அல்லது $v = -6\frac{2}{3}$ செ. மீ.

எனவே ஆடிக்கு $6\frac{2}{3}$ செ. மீ. தூரம் பின்னல் படிவம் விழும்.

பெருக்கம் $\frac{v}{u} = \frac{20}{3} \times \frac{1}{20} = \frac{1}{3}$.

பெருக்கம் $= \frac{1}{3}$.

உதாரணம் 4. 20 செ. மீ. ஆரம் கொண்டதொரு குழிஆடியும் 30 செ. மீ. ஆரம் கொண்டதொரு குவி ஆடியும் ஒரே இருசைக்கொண்டு ஒன்றையொன்று நோக்கி நிற்கின்றன. இவற்றினிடையே இருசின்மீது குழிஆடியினின்று 15 செ. மீ. தூரத்திலே ஒரு ஒளி ஊற்றுக்கண் வைக்கப்பட்டது. முதலில் குழி ஆடியிலும் பின்னர் குவி ஆடியிலும் பிரதிபலித்து ஏற்பட்டதொரு படிவத்தின் நிலையைக் காண்க.

குழிஆடியின் குவிய நீளம் 10 செ. மீ. குவிஆடியின் குவிய நீளம் 15 செ. மீ. குழிஆடியினின்று 15

செ. மீ. தூரத்தில் ஊற்றுக்கண் வைக்கப்பட்டது. ஆகையால் வாய்பாட்டின்படி

$\frac{1}{v} = \frac{1}{10} - \frac{1}{15} = \frac{1}{30}$. எனவே $v = 30$ செ. மீ.

படிவம் குழியாடியினின்று 30 செ. மீ. தூரத்திலிருக்கின்றது. அதாவது குவி ஆடிக்கு 10 செ. மீ. முன் விழுகிறது. இப்படிவம் குவிஆடியில் பிரதிபலிப்பதனால் உண்டாகும் படிவத்தைக் காணவேண்டும்.

வாய்பாட்டில் $u = +10$ செ. மீ.

$f = -15$ செ. மீ.

ஆகையால் $\frac{1}{v} = -\frac{1}{15} - \frac{1}{10}$

$$= -\left(\frac{1}{15} + \frac{1}{10}\right) = -\frac{1}{6}$$

எனவே $v = -6$ செ. மீ.

அதாவது குவி ஆடிக்குப் பின்னால் 6 செ. மீ. தூரத்தில் படிவம் விழும்.

வினாக்கள்

1. ஒளிப் பிரதிபலன விதிகளை எடுத்துக் கூறுக. இவற்றைக்கொண்டு ஒரு குழிஆடியின் குவிய நீளம் அதன் ஆரத்தில் பாதியாகுமென்று காட்டுக.

ஒரு குழிஆடியின் வளைவு மையத்திலே நிற்கு மொரு பொருளின் படிவத்தைக் காட்டுவதற்கான பட மொன்று வரைக.

(சென்னை : செப். 1928)

2. பிணையல் புள்ளிகளென்பன யாவை?

ஒரு குழி ஆடியின் முன்னால் கந்தழியிலிருந்து அதன் துருவத்தை நோக்கி ஒரு பொருள் வருகிறது. அதனால் அவ்வப்போது ஏற்படும் படிவங்களைப் படம் வரைந்து காட்டுக.

(அண்ணமலை, 1935)

3. ஒருகுழிஆடியின் ஆரத்தைக் காண்பதற்கான தொரு ஒளியியல் முறையை விவரித்துக் கூறுக.

ஒரு குழி ஆடியினின்று 5 செ. மீ. தூரத்திலே, அதன் இருசின்மீது அதற்குக் குறுக்காக 1 செ. மீ. நீளமானதொரு பொருள் வைக்கப்பட்டது. இவ்வாடி யின் ஆரம் 16 செ. மீ. ஒரு படம் வரைந்து படிவத்தின் நிலை கண்டு, அதை ஒருவன் எவ்வாறு காண்கிறான் என் பதையும் குறித்திடுக.

[சென்னை : மார்ச்சு, 1926]

4. ஒரு குழி ஆடியின் குவியநீளம், பொருளின் தூரம், படிவத்தின் தூரம், ஆகிய இம்மூன்றையும் தொடுக்கும் தொடர்பை வடித்தெடுக்கவும். ஒரு குவி ஆடியிலும் மேற்கூறிய தொடர்பைக் காணவும்.

ஒரு குவிஆடியும், ஒரு சமதள ஆடியும் ஒன்றை யொன்று நோக்கி நிற்குமாறு 30 செ. மீ. தூரத்திலே வைக்கப்படுகின்றன. இவற்றின் நடுமையத்திலே குவி ஆடியின் இருசின் மீது ஒரு சிறு குண்டூசி நிறுத் தப்பட்டது. சமதள ஆடியில் பார்க்கும்போது குண்டூசி யின் இரண்டு படிவங்கள் தென்படுகின்றன. இந்நிகழ்ச் சியை ஒரு படம் வரைந்து விளக்குக. இரட்டைப் பிரதிபலனத்தால் ஏற்பட்ட படிவம் சமதள ஆடியின் பின்னால் 45 செ. மீ. தூரத்தில் நிற்கிறது. குவிஆடி யின் குவிய நீளம் காண்க.

(சென்னை: மார்ச்சு, 1928)

5. ஒரு குழிஆடியினாலேற்பட்ட படிவம் பொரு ளைப் போன்று மூன்று மடங்கு பெரிதாய் இருக்கிறது. பொருளுக்கும் ஆடிக்கும் இடைத் தூரம் 6 செ. மீ. ஆடியின் வளைவு ஆரத்தைக் கணக்கிடுக.

6. ஒரு குவிஆடியினாலே ஏற்படும் படிவத்தின் நிலையைக் காண்பதற்கான வடிவியல் கரணத்தை எடுத் துக் கூறுக.

(சென்னை : மார்ச்சு, 1922)

7. ஒரு குவிஆடியிலேற்பட்ட படிவம் பொரு ளிலே நான்கிலொரு பங்கு இருக்கிறது. அவ்வாடியின் குவிய நீளம் 3 அங். ஆடியிலிருந்து பொருள் எவ்வளவு தூரம் விலகி இருக்கிறது என்று காண்க.

8. ஒரு குவி ஆடியின் வளைவு-ஆரம் 2 அடி. மூன்று அங்குல உயரமுள்ளதொரு பொருள் இதன் எதிரிலே 6 அங். தூரத்திலே நிறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. படிவத்தின் நிலை, பெருக்கம், இயல்பு முதலியவற்றைக் காண்க. இதே பொருள் ஆடிக்கு எதிரே 2 அடி தூரத்தில் நிறுத்தப்பட்டால் படிவத்தின் நிலையையும் பெருக்கத்தையும் காண்க.

9. ஒரு குவி ஆடியின் குவிய நீளம் 24 செ. மீ. இதன் எதிரிலே 10 செ. மீ. தூரத்திலே 5 செ. மீ. உயரமுள்ளதொரு பொருள் வைக்கப்பட்டது. இதன் படிவத்தின் நிலையையும், அளவையும், இயல்பையும் காண்க. உருவக முறையினலும் காண்க.

10. மோட்டார் ஓட்டும் சாரதியின் எதிரிலே ஒரு குவிஆடி வைக்கப்படுவது வழக்கம். இதனல் அவன் சாலையில் தனக்குப் பின்னுள்ள பொருள்களைப் பார்ப்பது சாத்தியமாகிறது. இது எவ்வாறு நிகழ்கிறது? ஒரு சமதள ஆடியை அங்கே வைத்தால் அதுவும் இதைப் போலவே உதவுமா?

ஒரு ஆடியின் முன்னல் 6 அங். தூரத்தில் ஒரு பொருள் நிற்க, அதன் படிவம் ஆடியின் பின்னல் 4 அங். தூரத்திலே தோன்றுகிறது. இவ்வாடியின் பிரதிபலனப் பரப்பினியல்பு யாது?

(பாட்ன : 1933)

11. ஒரு குவிஆடியிலே, அதன் குவிய நீளம், பொருளின் தூரம், படிவத்தின் தூரம் ஆகிய மூன்றினையும் தொடுக்கும் தொடர்பை காண்க.

(சென்னை : செப். 1926)

அத்தியாயம் 5

வில்லைகள் (Lenses)

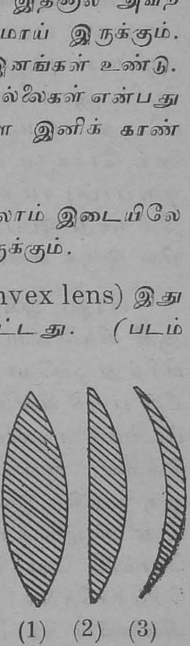
'வில்லை' எனப்படுவது ஒளியியலில் 'இரண்டு கோளப் பரப்புகளுக்கிடையே அகப்பட்டுள்ள தெளிவியல் யானம்' என்று வரைவிலக்கணம் கூறப்படும். இவற்றிலே சில வில்லைகளில் ஒரு பரப்பின் ஆரம் வரையறுக்கப்பட்டதாய் இருக்க, மற்றொரு பரப்பின் ஆரம் வரம்பற்றதாய் இருப்பதுண்டு. இதனால் அவற்றின் ஒருபுறம் தட்டையாய்ச் சமதளமாய் இருக்கும். வில்லைகளிலே பொதுவாக இரண்டு இனங்கள் உண்டு. குவி வில்லைகள் என்பதொன்று. குழிவில்லைகள் என்பது மற்றொன்று. இவற்றின் உட்பிரிவுகளை இனிக் காண்போம்.

1. குவிவில்லைகள் :—இவையெல்லாம் இடையிலே தடித்தும் விளிம்பிலே மெலிந்தும் இருக்கும்.

(1) இரு குவிவில்லைகள் (bi-convex lens) இது இரண்டு முகுளப் பரப்புகளுக்குட்பட்டது. (படம் 293 (1)).

(2) தள குவிவில்லை (plano-convex lens) இது ஒரு முகுளப் பரப்புக்கும் ஒரு சமதளப் பரப்புக்கும் உட்பட்டது. (படம் 293 (2)).

(3) குவி விளிம்புவில்லை (convex meniscus) இது ஒரு முகுளப் பரப்புக்கும் அதைவிடப் பெரிய ஆரங்கொண்டதொரு குடிலப் பரப்புக்கும் உட்பட்டது. (படம் 293 (3)).



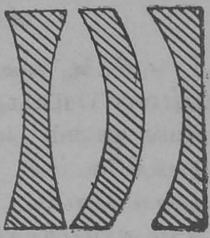
படம் 293

2. குழிவில்லைகள் :—இவையெல்லாம் இடையில் மெலிந்தும் விளிம்பிலே தடித்தும் இருக்கும்.

(1) இரு குழிவில்லை (bi-concave lens) இது இரண்டு குழிப்பரப்புகளுக்குட்பட்டது. (படம் 294 (1)).

(2) தள-குழிவில்லை (plano-concave lens). இது ஒரு குழிப் பரப்புக்கும் ஒரு சமதளப் பரப்புக்கும் உட்பட்டது. (படம் 294 (2)).

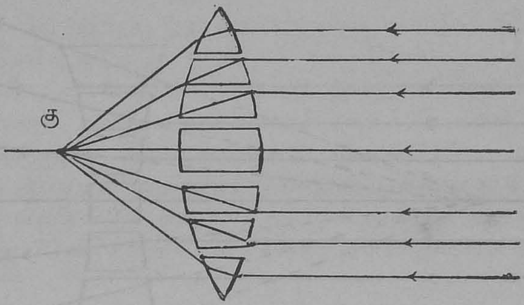
(3) குழி விளிம்பு வில்லை (concave meniscus). இது ஒரு குழிப்பரப்புக்கும், அதைவிடப் பெரிய ஆரங்கொண்டதொரு குவிப் பரப்புக்கும் உட்பட்டது. (படம் 294 (3)). இப்பரப்புகளின் மையங்களைச் சேர்க்கும் கோடு வில்லையின் இருசு எனப்படும். ஒரு பரப்பு சமதளமானல் மற்றொரு பரப்பியின் மையத்திலிருந்து இப்பரப்புக்கு வரையப்பட்ட லம்பமே வில்லையின் இருசு எனப்படும்.



படம் **294**

பிரதம குவியமும் குவிய நீளமும் : குவி வில்லை :—குவி வில்லையைப் படத்தில் (படம் 295) கண்டவாறு பிரித்து ஒவ்வொரு பகுதியையும் ஒரு சிறு முப்பட்டையின் பகுதி என்று கொள்ளலாம். இம்முப்பட்டையின் பீடங்கள் எல்லாம் வில்லையின் இருசை நோக்கி இருக்கின்றன. எனவே வில்லையின் இருசுக்கு இணையான ஒரு குறுகிய இணைக்கற்றை வில்லையின் ஒரு முகத்தின் மீது விழுந்தால், அக்கிரணங்களெல்லாம் இருசை நோக்கிக் கோட்டமடையும். இருசிலிருந்து விலகிச் செல்லச்செல்ல இக்கோட்டம் அதிகரிக்கும். மற்றும் வில்லையின் நடுப்பகுதியை இரண்டு சமதளப் பரப்புகளுக்குட்பட்டிருப்பதாகக் கொள்ளலாம். எனவே

இருசை ஒட்டி வரும் ஒரு கிரணம் கோட்டமடையாது நேரே செல்லும். உண்மையிலே இந்த இணைக்கற்றை



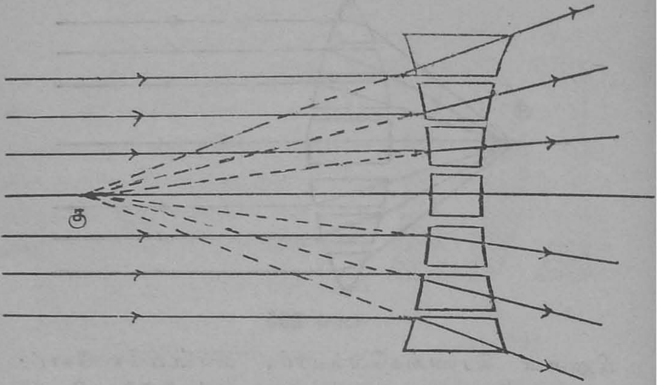
படம் 295

யிலுள்ள கிரணங்களெல்லாம், வில்லையிலே கோட்டமடைந்தபின்னர், கு என்ற ஒரு புள்ளியிலே சென்று கூடுகின்றன. இப்புள்ளியே வில்லையின் குவியம் எனப்படும். இக்குவியத்திற்கும் வில்லையின் மையத்திற்குமிடைப்பட்ட தூரம் வில்லையின் குவியநீளம் எனப்படும்.

குழிவில்லை :—இதையும் (படம் 296)இல் கண்டவாறு பிரித்து ஒவ்வொரு பகுதியையும் ஒரு சிறு முப்பட்டையின் பகுதி என்று கொள்ளலாம்.

ஆனால் இதில் முப்பட்டைகளின் விளிம்புகள் வில்லையின் இருசை நோக்கி இருக்கின்றன. அவற்றின் பீடங்களோ வில்லையின் விளிம்பை நோக்கித் திரும்பி இருக்கின்றன. ஆகையால் இதன் ஒரு முகத்திலே இருசுக்கு இணையானதொரு சிறு ஒளிக்கற்றை மோதினல், அதிலுள்ள கிரணங்களெல்லாம் கோட்டமடைந்து வில்லையின் விளிம்பை நோக்கித் திரும்பி வெளிப்படும். இருசிலிருந்து விலகிச் செல்லச்செல்ல இக்கோட்டம் அதிகரிக்கும். இருசை ஒட்டிச்செல்லும் கிரணமோ

கோட்டமடையாது நேரே செல்லும். உண்மையில் இக்கிரணங்களெல்லாம், கோட்டமடைந்தபின்னர், வில்



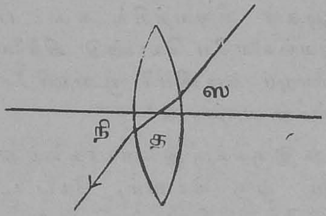
படம் 296

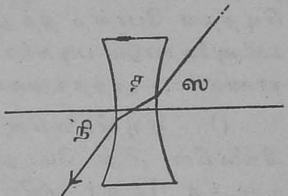
லைக்கு முன்னேயுள்ள கு என்னுமொரு புள்ளியிலிருந்து வெளிப்படுவதாகத் தோன்றும். இந்த கு என்னும் புள்ளியே இந்த வில்லையின் பிரதம-குவியம் எனப்படும். இக்குவியத்திற்கும் வில்லையின் மையத்திற்கும் இடைப்பட்ட தூரம் வில்லையின் 'குவிய-நீளம்' எனப்படும்.

இருசுக்கு இணையாக வரும் கிரணங்கள் இருசிலிருந்து அதிக தூரம் விலகி, வில்லையின்மீது மோதினல், அவை ஒரே புள்ளியில் குவியாமல் வெவ்வேறு புள்ளிகளிலே ஒன்றையொன்று சந்திக்கும். இதனல் முன்னே ஆடிகள் விஷயத்தில் நாம் கண்ட 'கோளப் பிறழ்ச்சி' இதிலும் எற்படும். எனவே நாம் வில்லையின் முகத்தைக் கூடியவரை சிறியதாக வைத்துக் கொள்ளவேண்டும். அல்லது ஒரு 'மறைப்பை'க் கொண்டாவது விளிம்பிற்கு அருகில் வந்து மோதும் கிரணங்களைத் தடுத்துவிடவேண்டும். இவ்வாறு செய்

வதால் படிவங்களின் திரட்சியும் தெளிவும் அதிக மாகும்.

வில்லையின் ஒளியியல்-மையம் (optic centre) வில்லையின் நடுவிலே ஒளியியல் மையமென்ற ஓர் புள்ளி யுண்டு. வில்லையினுட் புகுந்து இப்புள்ளி வழியாகச் செல்லும் ஒவ்வொரு கிரணத்திற்கும் பெயர்ச்சி ஏற் படுமே ஒழிய, திசை மாறுபாடு நிகழ்வதில்லை. அதா வது இப்புள்ளி வழியாகச் செல்லும் ஒவ்வொரு கிரண மும் வில்லையிலே நுழைவதற்கு முன்னும் பின்னும் ஒரே திசையிலே செல்லும். இத்தகைய த என்னும் புள்ளியே





(1) படம் **297** (2)

அவ்வில்லையின் 'ஒளியியல் மையம்' எனப்படும். (படம் 297 (1), (2))ல் ஒரு குவி வில்லைக்கும் ஒரு குழி வில்லைக் கும் ஒளியியல் மையங்கள் காட்டப்பட்டுள்ளன. நிற்க, சாமானியமாய் நாம் கையாளும் வில்லைகளிலே பெரும் பாலன மெல்லிய வில்லைகள். இவற்றிலே கிரணம் மோதும் ஸ என்ற புள்ளியும், அது வெளிப்படும் நி என்ற புள்ளியும், இடைப்பட்ட த என்ற ஒளியியல் மைய மும் மிக நெருங்கி இருப்பதால், அவை யெல்லாம் ஒன்றே என்று கொள்ளலாம். குவிய நீளங்களை இந்த ஒளியியல் மையத்தினின்றே அளக்கவேண்டுமாயினும், மேற்கண்டது போன்ற மெல்லிய வில்லைகளிலே அதன் பரப்பிலிருந்து அளந்தால் போதுமானது. மற்றும் ஒளியியல் மையம்வழியாகச் செல்லும் கிரணங்களுக்

கேற்படும் பெயர்ச்சி மிக அற்பமானதாகையால் அதையும் நீக்கிவிடலாம்.

நீளங்களை அளப்பதற்குரிய குறியீடுகளின் மரபு:-முன்பு ஆடிகள் விஷயத்தில் செய்ததுபோலவே, வில்லைகளின் ஒளியியல் மையங்களைத் தோற்றுவாயாகக் கொண்டு, அவற்றிலிருந்து ஒளியின் எதிர்த்திசையில் அளந்தால் அதை மிகைக்குறியுடனும், ஒளியின் திசையில் அளந்தால் அதைக் குறைக்குறியுடனும் கொள்ளுவதே சிறந்தது.

ஒரு வில்லையினுலேற்படும் படிவத்தை வடிவியல் முறையிலே காண:—ஆடிகள் விஷயத்தில் கடைப்பிடித்தன போன்ற தத்துவங்களையே கொண்டு வில்லைகளினுலேற்படும் படிவங்களையும் வடிவியல் முறையிலே காணலாம். அத்தத்துவங்கள் வருமாறு:—

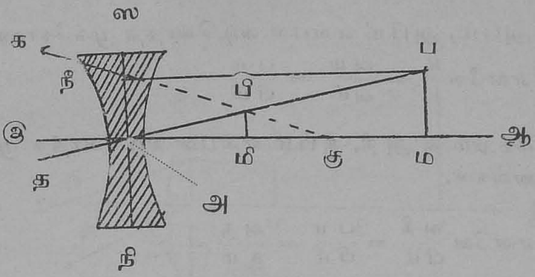
(1) ஒரு வில்லையினது இருசுக்கு இணையாக வந்து வில்லையின் மீது மோதும் ஒரு கிரணம், கோட்டமடைந்த பின்னர் குவியத்தின் வழியாகச் செல்லும். (குவி வில்லை); அல்லது குவியத்திலிருந்து விரிந்து வெளிப்படுவதாகத் தோன்றும். (குழி வில்லை).

(2) ஒரு வில்லையின் ஒளியியல் மையத்தின் வழியாகச் செல்லும் ஒரு கிரணம் தனது திசை மாறுபடாமல் மேற்செல்லும்.

(3) ஒரு வில்லையின் குவியம் வழியாகச் செல்லுமொரு கிரணம் வில்லையின்மீது மோதுமானுல், அது கோட்டமடைந்த பின்னர் வில்லையின் இருசுக்கு இணையாகச் செல்லும்.

குழிவில்லை:—ஸ அநீ என்பது ஒரு குழி வில்லையென்றும், இ அ ஆ அதன் இருசு என்றும் கொள்வோம். அ என்பது இந்த வில்லையின் ஒளியியல் மையம். கு என்பது இதன் குவியம். (படம் 298). ப என்பது

இதன் இருசுக்கருகில் இருக்கும் ஒரு புள்ளி. ப அ-வைச் சேர்த்து அதை த வரை நீட்டி விடவும். ப அ என்ற



படம் 298

திசையில் செல்லுமொரு ஒளிக்கிரணம் திசை மாறுபடாமல் அ த என்ற கோட்டிலே மேற்செல்லும். இ ஆ-வுக்கு இணையாக ப நீ என்ற கோட்டை வரைந்து அது ஸ அ நி என்ற கோட்டை நீ-யிலே சந்திக்கச் செய்யவும். கு நீ-ஐ சேர்த்து அதை மேலே நீட்டிவிடவும். ப நீ என்ற திசையிலே செல்லும் ஒரு கிரணம் கோட்டமடைந்து நீ க என்ற திசையிலே மேற்செல்லும். ப அ, நீ கு என்பன பி-யிலே சந்திப்பதாகக் கொள்வோம். ப-விலிருந்து வெளிவந்த இரண்டு கிரணங்களும், இப்போது பி என்ற புள்ளியிலிருந்து விரிந்து வெளிப்படுவதாகத் தோன்றும். எனவே பி என்பது ப-வின் பொய்ப்படிவமாகும். இ ஆ என்ற இருசின்மீது பி மி, ப ம என்ற லம்பங்களை வீழ்த்தவும். இப்போது பி மி என்பது ப ம-வின் பொய்ப்படிவமாகும் என்பது தெளிவு.

பொருள், படிவம், குவியம், ஆகிய இம்மூன்றும் முறையே வில்லையிலிருந்து விலகியிருக்கும் u, v, f என்னும் தூரங்களினிடையேயுள்ள உறவை இனிக் காண்போம்.

அ ம = u, அ மி = v ; அ கு = f. மற்றும் நீ அ = ப ம ஆகும்.

அ ப ம, அ பி மி என்பன வடிவொத்த முக்கோணங்கள். எனவே $\frac{u}{v} = \frac{\text{அ ம}}{\text{அ மி}} = \frac{\text{ப ம}}{\text{பி மி}}$

மற்றும் கு அ நீ, கு பி மி என்பன வடிவொத்த முக்கோணங்கள்.

எனவே $\frac{\text{அ நீ}}{\text{பி மி}} = \frac{\text{ப ம}}{\text{பி மி}} = \frac{\text{அ கு}}{\text{கு மி}} = \frac{f}{f-v}$

ஆகையால் $\frac{u}{v} = \frac{f}{f-v}$

அல்லது $uf - uv = vf$. இதை நெடுக uvf ஆல் வகுக்க $\frac{1}{v} - \frac{1}{f} = \frac{1}{u}$

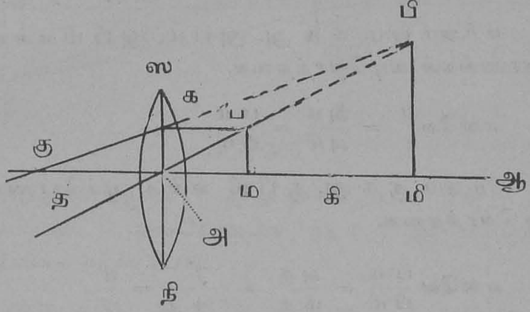
அல்லது $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ ஆகும்.

குவிவில்லை :—இதற்கும் குழி வில்லையைப் போன்ற கரணமே பொருந்தும். இதில் பல வகைகள் உண்டு. இவற்றில் இரண்டை மட்டுமே நாம் விசாரிப்போம்.

(1) பொருள் வில்லைக்கும் குவியத்திற்கும் இடையிலிருப்பது.

(2) பொருள் குவியத்திற்கு அப்புறம் இருப்பது. இவற்றிலே முதல் வகையில் ஏற்படுவது பொய்ப்படிவம். இரண்டாவது வகையில் ஏற்படுவது மெய்ப்படிவம். இவற்றையும் இவற்றில் பொருளின் தூரம், படிவத்தின் தூரம், குவிய நீளம் ஆகியவற்றின் உறவுகளையும் இனிக் காண்போம். (படம் 299).

ஸ அ நி என்பது வில்லை யென்றும், இ அ ஆ என்பது அதன் இருசு என்றும், அ என்பது இந்த வில்லையின் ஒளியியல் மையமென்றும் கொள்வோம். கு, கி



படம் 299

என்பன இந்த வில்லையின் இருபுறமுள்ள பிரதம-குவியங்கள் என்றும், ப என்ற ஒரு புள்ளி கி-ஐ விடக் குறைவான தூரத்தில் இருப்பதாகவும் கொள்வோம். ப அவைச் சேர்த்து அதை இருபுறமும் நீட்டிவிடவும். ப அ என்ற திசையில் செல்லும் கிரணம் திசை வேறுபடாது மேலே செல்லும். இ அ ஆ-வுக்கு இணையாக ப-விலிருந்து ஒரு கோட்டை வரைந்து, அது ஸ அ நி என்ற கோட்டை க என்ற இடத்திலே சந்திக்கும்படி செய்யவும். க கு வைச் சேர்த்து அதை இருபுறமும் நீட்டிவிடவும். ப க என்ற திசையிலே செல்லுமொரு ஒளிக்கிரணம் கோட்டமடைந்து க கு என்ற திசையிலே செல்லும். க கு, ப அ என்பன பி-யிலே சந்திப்பதாகக் கொள்வோம். ப-விலிருந்து புறப்பட்ட இந்த இரண்டு கிரணங்களும், பி-யிலிருந்து வெளிப்படுவதாகத் தோன்றுகின்றன. எனவே பி என்பது ப-வின் பொய்ப் படிவமாகும். ப ம, பி மி என்ற லம்பங்களை இ அ ஆ-வின் மீது வீழ்த்தவும். பி மி என்பது ப ம-வின்

பொய்ப்படிவமாகும். இது நிமிர்ந்தும் விரிந்தும் இருக்கிறது.

நிற்க, அ ம = u, அ மி = v, அ கு = f ஆகும்.

மற்றும் ப ம = க அ. அ ப ம, அ பி மி என்ற முக்கோணங்கள் வடிவொத்தவை.

$$\text{எனவே } \frac{u}{v} = \frac{\text{அ ம}}{\text{அ மி}} = \frac{\text{ப ம}}{\text{பி மி}}$$

மேலும் கு க அ, கு பி மி என்ற முக்கோணங்கள் வடிவொத்தவை.

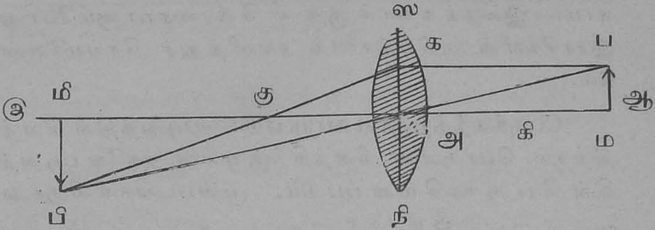
$$\text{எனவே } \frac{\text{ப ம}}{\text{பி மி}} = \frac{\text{அ கு}}{\text{மி கு}} = \frac{f}{v+f} = \frac{u}{v}$$

ஆகையால் $\frac{u}{v} = \frac{f}{v+f}$ அல்லது $uv + uf = vf$. முற்றிலும் uvf ஆல் வகுக்க

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{v} = \frac{1}{u}$$

அல்லது $\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ ஆகும். இதில் f என்பது குறைக்குறி இராசி. ஆகையால் இவ்வாய்பாடு $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ என்றாகும்.

(2) இந்தப் படத்திலே (படம் 300) பொருள் குவியத்திற்கப்புறம் நிற்கிறது. முன்போலவே ப அ, ப க என்னும் கிரணங்களின் போக்கைக் குறிக்கவும். இந்த இரண்டு கிரணங்களும் வில்லையிலே கோட்டமடைந்த பின்னர் பி என்ற புள்ளியிலே கூடுகின்றன. எனவே பி என்பது ப-வின் மெய்ப்படிவமாகும். பி மி, ப ம என்ற லம்பங்களை இ அ ஆ என்ற இருசின் மீது வீழ்த்தவும். இப்போது பி மி என்பது பம-வின்



படம் 300

மெய்ப்படிவம் ஆகும். இது தலைகீழாகவும், விரிந்தும் இருக்கிறது. முன்போலவே u, v, f ஆகியவற்றின் உறவுகளைக் காண்போம்.

அ ம = u, அ மி = v, அ கு = f; அ ப ம, அ பி மி என்பன வடிவொத்த முக்கோணங்கள். ஆகையால் $\frac{u}{v} = \frac{\text{அ ம}}{\text{அ மி}} = \frac{\text{ப ம}}{\text{பி மி}}$. மற்றும் க அ கு, பி மி கு என்பன வடிவொத்த முக்கோணங்கள். ஆகையால் $\frac{\text{அ கு}}{\text{கு மி}} = \frac{\text{ப ம}}{\text{பி மி}} = \frac{u}{v}$. இதனால் $\frac{u}{v} = \frac{f}{v-f}$ ஆகிறது. அல்லது $uv - uf = vf$ இதை முற்றும் uvf ஆல் வகுக்க.

$\frac{1}{f} - \frac{1}{v} = \frac{1}{u}$ அல்லது $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ ஆகிறது. ஆனால் இதில் f, v என்பன குறைக்குறி இராசிகள். ஆகையால் இந்த வாய்பாடு $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ என்றாகும்.

இந்த வாய்பாடே வில்லைகள் எல்லாவற்றிற்கும் பொருளின் எந்த நிலையிலும் பொருந்துமென்று தெரிகிறது. எனவே வில்லைகளைப்பற்றிய வரையிலே $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ என்பதே பொது வாய்பாடு என்று கொள்ள

லாம். இதைக் கணக்குகளிலே கையாளும்போது இராசிகளின் குறியீடுகளைக் கவனித்துச் செய்யவேண்டும்.

பெருக்கத்திற்குரிய வாய்பாடு :—படிவத்தின் நீளத்திற்கும் பொருளின் நீளத்திற்குமுள்ள தகவே படிவத்தின் பெருக்கமெனப்படும். முன்படங்களிலிருந்து பெருக்கம் $= \frac{\text{பி மி}}{\text{ப ம}} = \frac{v}{u}$ என்று அறியலாகும். $\frac{v}{u}$ என்பது மிகைக்குறியானால் படிவம் நிமிர்ந்திருக்கும். இது குறைக்குறியானால் படிவம் தலைகீழாக இருக்கும். இதைப் படங்களிலிருந்து காணலாகும்.

போருள் வில்லையிலிருந்து பலவேறு தூரங்களில் நிற்கும்போது ஏற்படும் படிவங்களின் நிலை, தன்மை, அளவு முதலியன :—

இவையெல்லாம் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையிலே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அவற்றிற்கான படங்களை வரைந்து வடிவியல் முறையினால் அவற்றைச் சரிபார்க்கலாம்.

எண்	பொருளின் நிலை	படிவத்தின் நிலை	படிவத்தின் இயல்பு
	குவிவில்லை		
1	கந்தழியில்	குவியத்தில்	மெய், புள்ளி வடிவினது.
2	கந்தழிக்கும் $2f$-க்கும் இடையே	குவியத்திற்கும் $2f$-க்கும் இடையே	மெய்-தலைகீழானது, சுருங்கியது.
3	$2f$-ல்	$2f$-ல்	மெய்-தலைகீழானது, பொருளின் அளவினது.

எண்	பொருளின் நிலை	படிவத்தின் நிலை	படிவத்தின் இயல்பு
4	2 f-க்கும் குவியத்திற்கும் இடையே	2f-க்கு அப்புறம்	மெய்-தலைகீழானது, விரிந்தது,
5	குவியத்திலே	கந்தழியிலே	——
6	குவியத்திற்கும் வில்லைக்குமிடையே	கந்தழிக்கும் வில்லைக்கும் இடையே	பொய்-நிமிர்ந்தது, விரிந்தது.
	குழிவில்லை		
1	கந்தழியில்	குவியத்தில்	பொய்-புள்ளி வடிவினது.
2	கந்தழிக்கும் வில்லைக்குமிடையே	குவியத்திற்கும் வில்லைக்கும் இடையே	பொய்-நிமிர்ந்தது, சுருங்கியது.

பிணையல் குவியங்கள் :—ஆடிகளில் பார்த்தது போலவே இவ்வில்லைகளிலும் பொருள்களையும் படிவங்களையும் ஒன்றோடொன்று இடம் மாறச் செய்யலாம். படிவம் நின்ற இடத்திலே பொருளை வைத்தால் பொருள் நின்ற விடத்திலே படிவம் தோன்றும். ஆகையால் இவ்வாறு இடம் மாறக்கூடிய பொருள் நிலையையும் அதற்கநுகுணமான படிவ நிலையையும் ‘பிணையல் குவியங்கள்’ என்று சொல்லுவது வழக்கம். இது குவிவில்லைகளுக்கு மட்டுமே பொருந்தும். ஆனால் குழிவில்லைகளுக்கும் இச்சொல்லைப் பிரயோகிப்பதுண்டு. குழிவில்லைகளிலே முன்னே கூறிய இடமாற்றம் சாத்தியமாகாது. ஒரு பொருளின் படிவம்நின்ற இடத்திலே ஒரு பொருளை வைத்தால் முன்பு பொருள் நின்ற இடத்திலே படிவம் உண்டாகாது. பொய்ப்படிவம் நின்ற

நிலையில் நாம் வைக்கும் பொருளும் பொய்ப் பொருளாக இருக்கவேண்டும்.

வில்லையின் திறமை (power of a lens):—ஒரு வில்லையினது குவிய நீளத்தின் முறைமாறலை அதன் 'திறமை' என்று கூறுவது வழக்கம். ஒரு வில்லையின் திறமை $P = \frac{1}{f}$ ஆகும். திறமையின் அலகு 'குவிப்பு' (Dioptre) எனப்படும். ஒரு மீட்டர் குவிய நீளமுள்ள வில்லையின் திறமையே ஒரு 'குவிப்பு' எனப்படும். எனவே ஒருவில்லையின் திறமையைக் குவிப்பு அளவிலே கூறவேண்டுமானால்

$$P = \frac{100}{\text{செ. மீட்டர்களில் குவிய நீளம்}}$$

என்று கூறவேண்டும். 50 செ. மீ. குவிய நீளமுள்ள ஒரு வில்லையின் திறமை இரண்டு குவிப்புகள் ஆகும். கண்ணாடி வியாபாரிகளின் மரபின்படி குவிவில்லைகளின் திறமை மிகைக் குறியும், குழிவில்லைகளின் திறமை குறைக் குறியும் ஆகும்.

இரண்டு வில்லைகளின் சேர்க்கை:—முறையே f_1, f_2 என்ற குவிய நீளங்கள் கொண்ட இரண்டு வில்லைகள் ஒன்றோடொன்று ஒட்டப்பட்டு அவற்றின் இருசுகள் ஒன்றும்படியாக வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். இவையிரண்டும் மிகவும் மெல்லிய வில்லைகள் என்றும், இதனால் இச்சேர்க்கையின் மையம் இருசின் மீதே இவ்வில்லைகளுக்குள்ளே எந்த இடத்தில் வேண்டுமாயினும் இருப்பதாகக் கொள்ளலாமென்றும் கொள்வோம். இத்தகைய ஒரு சேர்க்கையின் பயனிலைக் குவிய நீளத்தைக் காணுவோம்.

முதலில் f_1 என்ற குவிய நீளம் கொண்ட ஒரே வில்லை இருப்பதாகவும், பொருள் இதிலிருந்து u என்ற

தூரத்தில் இருப்பதாகவும் கொள்வோம். இதன் படிவம் v_1 என்ற தூரத்திலே விழுந்தால் $\frac{1}{v_1}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f_1}$ ஆகும். இப்போது இரண்டாவது வில்லையை இடையிலே இடுவோம். முதல் வில்லையிலேற்பட்ட படிவம் இந்த இரண்டாவது வில்லைக்குப் பொருளாகும். எனவே பயனில்லைப் படிவம் v என்ற தூரத்திலே தோன்றுமானால்

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{v_1}=\frac{1}{f_2}$$ ஆகும்.

இந்த இரண்டு சமீகரணங்களையும் கூட்டினால் $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$ ஆகும்.

இந்த சேர்க்கையின் பயனில்லைக் குவிய நீளம் f ஆனால் $\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$.

இவ்வாறு கணக்கிடும்போது மிகைக்குறி குறைக் குறியாகிய குறியீடுகளை நன்றாகக் கவனித்து இடவேண்டும். முறையே 20 செ. மீ., 30 செ. மீ. குவிய நீளங்களாகக் கொண்ட இரண்டு குவிவில்லைகளைச் சேர்த்திருப்பதாகக் கொள்வோம். இவையிரண்டின் குவிய நீளங்களும் ஒரே குறியீட்டை யுடையன. எனவே பயனில்லைக் குவிய நீளம் f ஆனால்

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{20}+\frac{1}{30}=\frac{1}{12}$$ ஆகும்.

இவையிரண்டும் சேர்ந்து 12 செ. மீ. குவிய நீளம் கொண்ட ஒரு குவிவில்லைக்குச் சமமாகும்

கிற்க, இவற்றிலே 30 செ.மீ. குவிய நீளம் கொண்ட வில்லை குழிவில்லை என்று கொள்வோம். இப்போது இரண்டு வில்லைகளின் குவியநீளங்களும் ஒன்றிற்கொன்று எதிரானவை. எனவே ஒன்றை மிகைக்குறி

யாகவும், மற்றொன்றை குறைக்குறியாகவும் கொள்ள வேண்டும். நாம் வழக்கப்படி குழிவில்லையின் குவிய நீளத்தை மிகைக்குறியாகக் கொள்வோம். பயனிலைக் குவியநீளம் f ஆனால்

$\frac{1}{f} = -\frac{1}{20} + \frac{1}{30} = -\frac{1}{60}$. ஆகும். அல்லது $f = -60$ செ. மீ. ஆகும்.

எனவே இவ்விரண்டு வில்லைகளும் சேர்ந்து 60 செ. மீ. குவியநீளம் கொண்டதொரு குவிவில்லைக்குச் சமமாகின்றன.

ஒரு வில்லையின் திறமை அதன் குவிய நீளத்தின் முறைமாறல் என்று நாம் கொண்டோம். எனவே ஒரு வில்லைச் சேர்க்கையின் திறமை அதிலுள்ள வில்லைகளின் திறமைகளைக் குறியியல் முறைப்படி கூட்ட வருவதாம்.

வில்லைகளைக்கொண்டு செய்யும் சில பரிசோதனைகள் :—

1. வில்லைகளின் இயல்பைக் காண :—குவிவில்லைகளையும் குழிவில்லைகளையும் மிக எளிதாகப் பிரித்துவிடலாம். வில்லையைக் கையில் பிடித்துக் கொண்டு அதன் வழியாகத் தூரத்திலுள்ளதொரு பொருளைப் பார்க்கவும். இப்போது வில்லையை ஒருபுறமாகச் சிறிது நகர்த்தவும். தூரத்திலுள்ள பொருள் வில்லைக்கு எதிர்ப்புறமாக நகருவதாகத் தோன்றினால் அது குவிவில்லையாகும். தூரத்திலுள்ள பொருள் வில்லையோடு அதே திசையிலே நகருவதாகத் தோன்றினால் அது குழிவில்லையாகும். பல மெல்லிய வில்லைகளை இவ்வாறு பரிசோதித்து குவிவில்லைகள் தனியாகவும், குழிவில்லைகள் தனியாகவும் பிரித்துவிடலாம். மற்றும் இரண்டிரண்டு வில்லைகளை ஒன்றுசேர்த்து, அவ்

வில்லைகளின் சேர்க்கை குவியும் இயல்பினதா அல்லது குழியும் இயல்பினதா என்றும் பார்க்கலாம்.

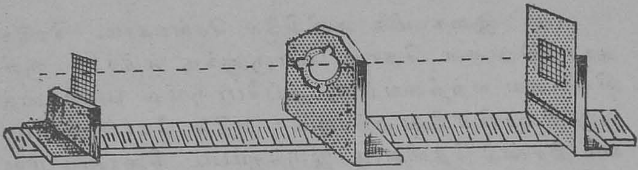
2. குவிவில்லையின் குவிய நீளத்தைக் காண :—

(a) இதை மிக எளிதிலே செய்யலாம். நெடுந் தூரத்திலுள்ள தொரு பொருளுக்கு எதிராக குவி வில்லையை ஏற்றிவைத்து, அப்பொருளின் படிவத்தை ஒரு திரையின்மீது ஏற்கவும். அதில் தோன்றும் படிவம் திரண்டு தெளிவாக இருக்கும்படி திரையை முன்னும் பின்னும் நகர்த்திச் சரிப்படுத்தவும். வில்லைக்கும் திரைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை அளவிடவும். இதுவே அந்த வில்லையின் குவிய நீளமாகும்.

(b) $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ என்னும் வாய்பாட்டின் உதவியாலும் ஒரு வில்லையின் குவிய நீளத்தைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். இதிலே வில்லையின் நிலைக்கும் பொருளின் நிலைக்கும் இடைப்பட்ட (u) என்ற தூரத்தையும், வில்லையின் நிலைக்கும் படிவ நிலைக்கும் இடைப்பட்ட (v) என்ற தூரத்தையும் அளவிட்டாக வேண்டும். பொருளின் ஒவ்வொரு நிலைக்கும் அநுகுணமான படிவ நிலையைக் காணுவதற்கு இரண்டு முறைகளைக் கையாளலாம். முதாவது, கம்பிச் சல்லடையைப் பொருளாகக்கொண்டு திரையின்மீது படிவத்தை ஏற்பது. இது மெய்ப்படிவங்களைக் காணுவதற்கு மட்டுமே பயன்படும். இரண்டாவது, புடைபெயர்ச்சி முறை மெய் பொய்யாகிய இருவகைப் படிவங்களையும் காணுவதற்குப் பயன்படும். இவை ஒவ்வொன்றையும் இனி விவரிப்போம்.

குவிவில்லையை சட்டகத்திலேற்றிவைக்கவும். (படம் 301). இதன் இருசுக்கு இணையாகப் பீடத்தின்மீது ஒரு நீண்ட மீட்டர் அளவியைக் கிடத்தி வைக்

கவும். முன்னே விவரிக்கப்பட்டது போன்ற ஒரு கம்பிச் சல்லடையை ஒளியேற்றி அதையும் அளவியின் ஒரு முனைக்கு அருகிலே வைத்து, அதைப் பொருளாகக்



படம் **301**

கொள்ளவும். நிமிர்த்து ஏற்றிவைக்கப்பட்ட மெல்லிய வெள்ளை அட்டை அல்லது தேய்த்த கண்ணாடிப் பலகையை, படிவத்தை ஏற்பதற்குரிய திரையாகக்கொண்டு அதை அளவியின் மற்றொரு முனைக்கருகில் வைக்கவும். கம்பிச் சல்லடைக்கும் திரைக்கும் இடையே வில்லை நிற்கவேண்டும். பொருள் நிலை, வில்லையின்நிலை ஆகியவற்றிற்குரிய அளவியின் வாசகங்களைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். இவ்விரண்டு வாசகங்களின் வேற்றுமையே (u) ஆகும். திரையை முன்னும் பின்னுமாக நகர்த்தி அதன்மீதுவிழும் கம்பிச் சல்லடையின் படிவம் திரண்டு, தெளிவாக இருக்கும்படி சரிப்படுத்தவும். இத்திரையின் வாசகத்தையும் அளவியில் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இதற்கும் வில்லையின் வாசகத்திற்கும் உள்ள வேற்றுமையே (v) ஆகும். இவ்வாறே பொருளின் நிலையைப் பலவாறாக மாற்றி அவ்வப்போதும் படிவநிலையைக் கண்டு u, v-க்களைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். கண்ட முடிவுகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு அட்டவணைப் படுத்தவும்.

எண்	u	v	$\frac{1}{u}$	$\frac{1}{v}$	$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}$

கடைசிக் கலத்தில் கண்ட ஈவுகள் ஏறக்குறைய சமமாக இருப்பதைக் காணலாம். அவற்றின் பொதுமையைக் கண்டு அதன் முறைமாறலைக் கணக்கிட்டால் வரும் எண்ணே வில்லையின் குவியநீளம் f ஆகும்.

ஆடிக்காகக் கையாண்ட இரண்டு வகையான உருவக முறைகளைக் கையாண்டு மேற்கண்ட வாசகங்களிலிருந்து வில்லையின் குவியநீளத்தைக் கணக்கிடலாம்.

புடைபெயர்ச்சி முறை :—முன் கண்டது போலவே வில்லையை ஏற்றிவைத்து அதன் முன்னிலையில் ப என்னும் ஒரு நீண்ட ஊசியை ஏற்றிவைக்கவும். வில்லையின் இருசின் நெடுகப் பார்வையைச் செலுத்தி இந்த ப என்னும் ஊசியின் படிவத்தை நோக்கவும். இப்போது வில்லையின் பின்புறத்திலும் ம என்னும் மற்றொரு நீண்ட ஊசியைச் செங்குத்தாக ஏற்றிவைக்கவும் ப-வினது படிவத்தின் இடைப்பகுதியும், ம-வின் கீழ் மேல் பகுதிகளும் ஒரே கோட்டிலே ஒன்றி நின்று தொடர்ந்து தோன்றும்படி, புடைபெயர்ச்சி முறையினால் ம-வை முன்னும் பின்னும் நகர்த்திச் சரிப்படுத்தி வைக்கவும். இப்போது ப-வின் படிவமும் ம-வும் ஒரே இடத்தில் நிற்கின்றன. எனவே, வில்லைக்கும்

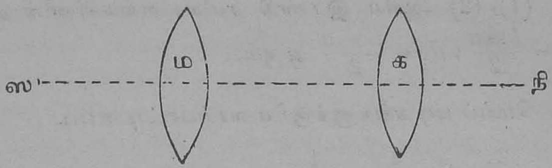
ப-வுக்கும் இடைப்பட்ட (u) என்ற தூரத்தையும், வில்லைக்கும் ம-வுக்கும் இடைப்பட்ட (v) என்ற தூரத்தையும் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இவ்வாறே ப-வின் நிலையைப் பலவாறாக மாற்றி, அவ்வப்போதும் புடைபெயர்ச்சி முறையினாலே ம-வின் நிலையைச் சரிப்படுத்தி u, v-க்களைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இந்த முறை மெய் பொய்யாகிய இருவகைப் படிவங்களுக்கும் செல்லுமாகையால் இதை குவி, குழி ஆகிய இருவகை வில்லைகளுக்கும் கையாளலாம். நிற்க, குவிவில்லையிலே மெய்ப்படிவங்களே வேண்டுமானால் இரண்டு நிபந்தனைகள் பூர்த்தியாகவேண்டும்.

(1) பொருள் வில்லையின் குவியத்தினுள்ளே வில்லையை அணுகி இருக்கக்கூடாது.

(2) பொருளுக்கும் படிவத்திற்கும் இடைப்பட்ட தூரம் குவிய நீளத்தைப் போன்று நான்கு மடங்குக்கு அதிகமாக இருக்கவேண்டும்.

வில்லையை இடமாற்றும் முறை :—பொருளுக்கும் திரைக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் வில்லையின் குவிய நீளத்தைப் போல நான்கு மடங்கிற்கு மேற்பட்டால், இவற்றினிடையே வில்லை இரண்டு வெவ்வேறு நிலைகளில் இருக்கும்போது பொருளின் படிவம் திரையின் மீது விழும்.

இது ஏற்படும் முறை வருமாறு :—ஸ, நி என்பன முறையே பொருளும் திரையும் என்று கொள்வோம். (படம் 302). ம-விலிருக்கும் த என்ற வில்லையினால் ஏற்படும் ஸ-வின் படிவம் நி-யிலே தோன்றுவதாகக் கொள்வோம். இது விரிந்த படிவமாய் இருக்கும். ஸம, நிக என்பன சமமானால் க என்ற இடத்தில் வில்லை நின்றால், நி-யிலே ஸ-வின் சுருங்கிய படிவமென்று தோன்றும். ஏனெனில் முதல் நிலையிலே



படம் 302

$\frac{1}{\text{நி ம}} - \frac{1}{\text{ஸ ம}} = \frac{1}{f}$. இதை

$\frac{1}{\text{நி ம}} - \frac{1}{\text{நி க}} = \frac{1}{f}$ என்றும் எழுதலாம். இதையே சற்று மாற்றி

$\frac{1}{\text{நி க} + \text{க ம}} - \frac{1}{\text{நி க}} = \frac{1}{f}$ என்று எழுதலாம்.

இதுவே $\frac{1}{\text{ஸ ம} + \text{க ம}} - \frac{1}{\text{நி க}} = \frac{1}{f}$ என்றாகும்.

அல்லது $\frac{1}{\text{ஸ க}} - \frac{1}{\text{நி க}} = \frac{1}{f}$ ஆகும். ஆனால் இதுவே க என்ற இடத்திலே வில்லை நிற்க ஸ-வின் படிவம் நி-யிலே விழுவதற்குரிய நிபந்தனையாகும். எனவே ஸ, நி-க்களினிடையே வில்லை ம, க என்ற இரண்டிடங்களில் இருக்கும்போதும் ஸ-வின் படிவம் நி-யின்மீது விழும் என்று தெரிகிறது.

நிற்க ஸ நி $= l$ என்றும், ம க $= a$ என்றும், ஸ ம $=$ நி க $= d_1$ என்றும், ம நி $=$ ஸ க $= d_2$ என்றும் கொள்வோம்.

இப்போது $l = d_1 + d_2 =$ ஆகும்...(1). மேலும் ம க $=$ ஸ க $-$ ஸ ம.

$\therefore a = d_2 - d_1$ ....(2)

(1), (2) ஆகிய இரண்டு சமீகரணங்களினின்றும் $d_1 = \frac{l - a}{2}$; $d_2 = \frac{l + a}{2}$ ஆகும்.

மெய்ப் படிவங்களுக்குரிய வாய்பாட்டின்படி

$$\frac{2}{l - a} + \frac{2}{l + a} = \frac{1}{f}$$

அல்லது $\frac{l^2 - a^2}{4l} = f$ ஆகும்.

குவிவில்லையின் குவிய நீளத்தைக் காண இந்த வாய்பாடு கையாளப்படுகிறது. இந்த முறையிலே வில்லையின் ஒளியியல் மையத்தின் நிலையைப் பற்றிய தடுமாற்றம் இல்லை. இதுவே இந்த முறையின் சாதகமாகும்.

இதைச் செய்யும் முறை வருமாறு:—குவிவில்லையின் குவிய நீளத்தைத் தோராயமாக முதலில் கூறிய முறைப்படி, தொலைவிலுள்ள பொருளைக் குவியப்படுத்தி அறிந்துகொள்ளவும். கம்பிச் சல்லடையையும், திரையையும் அளவியின் இருமுனைகளுக்கருகே ஏற்றிவைக்கவும். இவற்றினிடைத்தூரம் முன்புகண்ட குவிய நீளத்தின் நான்கு மடங்கிற்குச் சற்று அதிகமாய் இருக்க வேண்டும். இப்போது குவிவில்லையை அளவியின் நடுப்பாகத்தில் ஏற்றி நிறுத்தி அதைத் திரையை நோக்கித் தள்ளவும். கம்பிச் சல்லடையின் சுருங்கிய படிவமொன்று திரையின்மீது விழும். வில்லையை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி, இப்படிவம் திரண்டு தெளிவாயிருக்கும்படி சரிப்படுத்தி வைக்கவும். கம்பிச் சல்லடை, வில்லை, திரை ஆகிய இம்மூன்றின் நிலைகளையும் அளவியிலே கண்டு அவற்றின் வாசகங்களைக் குறித்துக்கொள்ளவும். திரைக்கும் கம்பிச் சல்லடைக்குமிடைப்பட்ட l என்ற தூரத்தைக் கணக்கிட்டுக் குறித்துக்கொள்ள

வும். இப்போது திரையையும் கம்பிச் சல்லடையையும் தம்மிடத்திலேயே இருக்க விட்டுவிட்டு வில்லையை மட்டும் கம்பிச் சல்லடையை நோக்கி நகர்த்தவும். அது கம்பிச் சல்லடையை அணுகும்போது திரையின் மீது கம்பிச்சல்லடையின் விரிந்த படிவமொன்று விழும். இப்படிவம் திரண்டு தெளிவாக இருக்குமாறு வில்லையின் நிலையைச் சரிப்படுத்தவும். இப்போது வில்லையின் நிலைக்குரிய வாசகத்தை அளவியிலே கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். வில்லையின் இரண்டு நிலைகளுக்குமிடைப்பட்ட a என்ற தூரத்தைக் கணக்கிட்டு குறித்துக்கொள்ளவும். $f = \frac{l^2 - a^2}{4\,l}$ என்னும் வாய்பாட்டினுதவியால் வில்லையின் குவிய நீளத்தைக் கணக்கிடவும்.

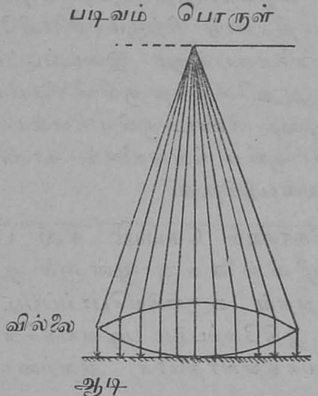
மேலே கண்ட வாய்பாட்டிலே $a = 0$ ஆனால் $f = \frac{l}{4}$ ஆகும். இந்த உறவைக் கொண்டும் ஒரு குவி வில்லையின் குவிய நீளத்தைக் காணலாம்.

இந்த முறை வருமாறு:—கம்பிச்சல்லடையின் சுருங்கிய படிவமொன்று திரையின்மீது விழச்செய்யவும். இப்போது வில்லையைச் சிறிது கம்பிச்சல்லடையை நோக்கி நகர்த்தி, மறுபடியும் திரையை வில்லைக்கு அருகே நகர்த்திப் படிவத்தைக் குவியச் செய்யவும். பின்னுமொரு முறை வில்லையைப் பொருளுக்கு அருகே நகர்த்திவிட்டு, மறுபடியும் திரையை அருகே கொண்டு வந்து படிவத்தைக் குவியச் செய்யவும். இவ்வாறு நகர்த்தும்போது வில்லையையும் திரையையும் ஒவ்வொன்ருக நகர்த்த வேண்டுமேயொழிய இரண்டையும் ஒரே காலத்தில் நகர்த்தக் கூடாது. இவ்வாறே மேலும் மேலும் செய்துகொண்டே போனல் ஒரு நிலையிலே படிவத்தைக் குவியச் செய்வதற்காகத் திரையை வில்லையினின்று விலகி நகர்த்தவேண்டியிருக்கும். இவ்வாறு

திரும்பும் நிலையில், கம்பிச் சல்லடைக்கும் திரைக்கும் இடையிலே வில்லை ஒரு நிலையில் மட்டுமே, திரையின் மீது படிவத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது. இதற்குக் காரணம் படிவமுண்டாக்கக் கூடிய வில்லையின் இரண்டு நிலைகளும் ஒன்றின்மீது ஒன்று படிந்துவிட்டதேயாகும். அதாவது இப்போது $a = 0$. இந்த நிலையிலே திரைக்கும் கம்பிச் சல்லடைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை அளவிடவும். அது l ஆனால் $f = \frac{l}{4}$ ஆகும்.

ஒரு குவிவில்லையின் குவிய நீளத்தை ஒரு சமதள ஆடியினுதவியால் காணுதல்:—ஒரு குவிவில்லையின் குவியத்திலே ஒரு ஊற்றுக்கண் வைக்கப்பட்டால் அதிலிருந்து வெளிப்படும் கிரணங்களெல்லாம் வில்லையிலே கோட்டமடைந்த பின்னர், அவ்வில்லையின் இருசுக்கு இணையாகச் செல்லும். இந்த கிரணங்களின் வழிக்குச் செங்குறுக்காக ஒரு சமதள ஆடி வைக்கப்பட்டால் அக்கிரணங்களெல்லாம் பிரதிபலித்துத் தாம் வந்த வழியே மீண்டு, வில்லையின் குவியத்திலே சென்றுகூடும். இந்தத் தத்துவமே கீழ்க்கண்ட பரிசோதனையில் கையாளப்படுகிறது. ஒரு சமதள ஆடியை அதன் பிரதிபலிக்கும் முகம் மேனோக்கி இருக்கும்படி ஒரு மேஜையின்மீது படுக்க வைத்து, அதன்மீது குவியநீளம் அளக்கவேண்டிய குவிவில்லையை வைக்கவும். ஒரு நீண்ட ஊசியைப் படுக்கை வாக்கிலே இதன் இருசுக்கு நேராக மேலே ஏற்றி வைக்கவும். இதற்கு மேலே சற்று தொலைவிலிருந்து ஆடியின் இருசு வழியாகப் பார்வையைச் செலுத்தி, இந்த ஊசியின் மெய்ப்படிவத்தைப் பார்க்கவும். இம்மெய்ப் படிவத்தைக் காணுதல் சிறிது கடினம். ஊசி வில்லைக்கு மிக நெருங்கிவிட்டால் பொய்ப்படிவம் மட்டுமே தோன்றும். ஊசி வெகு தூரத்திலிருந்து விட்டாலும் படிவம் குழறித் தோன்

றும். இவை இரண்டும் நேராமல் பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும். இப்போது ஊசியை மேலுங்கீழுமாக நகர்த்தி ஊசியும், அதன் மெய்ப்படிவமும் ஒரே கோட்டில் ஒன்றி நின்று தொடர்ந்து தோன்றும்படி, புடைபெயர்ச்சி முறையினால் சரிப்படுத்தி வைக்கவும். (படம் 303). இந்த நிலையிலே ஊசிக்கும் வில்லையின் முதல்முகத்திற்கும் உள்ள தூரத்தையும், ஊசிக்கும் ஆடியின் மேல் முகத்திற்கும் உள்ள தூரத்தையும் அளவிட்டு, அவற்றின் பொதுமை காணவும். அதுவே வில்லையின் குவிய-நீளமாகும்.



படம் 303

இதைச் செய்யும் மற்றொருமுறை வருமாறு:— ஒளியிடப்பட்ட கம்பிச் சல்லடையை ஏற்றி நிறுத்தி வைக்கவும். இதன் முன்னால் குவிவில்லையை அதன் இருசு, கம்பிச் சல்லடையின் மையம் வழியாகச் செல்லும்படி ஏற்றி வைக்கவும். இந்த வில்லைக்குப் பின்புறத்திலே சிறிது தூரத்தில் ஒரு சமதள ஆடியை அதன் முகம் வில்லையை நோக்கும்படி ஏற்றி நிறுத்தி வைக்கவும். வில்லையை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தினால், கம்பிச் சல்லடைக்கருகில் அதன் மீதே அதன் மங்கிய படிவமொன்று தோன்றுவதைக் காணலாம். இப்படிவம் திரண்டு தெளிவாகத் தெரியுமாறு வில்லையின் நிலையைச் சரிப்படுத்தவும். இந்தப் படிவம் ஆடியினால் ஏற்பட்டதுதான் என்பதைத் தெரிந்துகொள்ள

வேண்டும். ஆடியைச் சிறிது சாய்த்தால் இப்படிவம் நகரவேண்டும். இல்லாவிடில் இப்படிவம் வில்லையின் பின் முகத்திலேற்பட்ட பிரதிபலனத்திஞல் நிகழ்ந்தது என்றுகொண்டு, சரியான படிவத்தைத் தேடிப்பிடிக்க வேண்டும். இப்படிவம் திரண்டு நிற்கும் நிலையிலே வில்லைக்கும் கம்பிச் சல்லடைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை அளவிடவும். அதுவே இந்த குவிவில்லையின் குவிய-நீளமாகும். இம்முறை நீண்ட குவிய நீளங்களை யுடைய குவிவில்லைகளின் குவிய நீளங்களைக் காண்ப தற்குப் பெரும்பாலும் பயன்படுகிறது.

குழிவில்லைகளைக் கொண்டு செய்யும் சில பரி சோதனைகள் :—(1) குழிவில்லைக்கு முன்ஞல் ஒரு பொருளை வைத்தால் அதன் சுருங்கியபொய்ப்படிவ மொன்று கிடைக்கிறது. இதிலேற்படும் படிவங்களெல் லாம் பொய்யியல்பு வாய்ந்தனவாதலால் அவற்றைத் திரைகளின்மீது ஏற்கமுடியாது. ஆகையால் படிவங் களின் நிலைகளை நிர்ணயிப்பதற்குப் புடைபெயர்ச்சி முறையை மட்டுமே கையாளக்கூடும்.

குழி வில்லைகளின் குவிய நீளத்தைக் காணும் முறை வருமாறு :—ஒருகுழிவில்லையை V-வடிவான சட் டகத்தின் மேலேற்றி நிமிர்த்து நிறுத்திவைக்கவும். இதன் முன்னிலையில் சுமார் ஒரு மீட்டர் தூரத்திலே ப என்னும் ஒரு நீண்ட ஊசியைச் செங்குத்தாக நிறுத்தி வைக்கவும். வில்லையின் பின்புறம் வழியாக அதன் இரு சின் நெடுகப் பார்வையைச் செலுத்திஞல், இவ்வூசியின் பொய்ப்படிவமொன்று கண்ணுக்குப் புலப்படும். இதைப் பார்த்துக்கொண்டே, ம என்னும் மற்ருெரு நீண்ட ஊசியை இப்படிவம் தோன்றுமிடத்திலே பிடிக்க வும். இந்த இரண்டாவது ஊசியின் மேற்பகுதி வில் லைக்கு மேலாக நேரே கண்ணுக்குப் புலப்படும்படி இருக்கவேண்டும். ப-வின் படிவமும், ம-வின் மேற்பகுதி

யும் ஒரே கோட்டில் ஒன்றித் தொடர்ந்து தோன்று மாறும், அவற்றினிடையே புடை பெயர்ச்சி இல்லாத வாறும் ம-வின் நிலையைச் சரிப்படுத்தவும். வில்லைக் கும் ப-வுக்கும் இடைப்பட்ட u என்ற தூரத்தையும், வில்லைக்கும் ம-வுக்கும் இடைப்பட்ட v என்ற தூரத் தையும் அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும். மற்றும் ப-வின் நிலையைப் பலவாருக மாற்றி அவ்வப்போதும் ம-வின் நிலையைக்கண்டு, u, v-க்களை அளந்து குறித்துக் கொள்ளவும். இதில் கண்ட முடிவுகளைக் கீழ்க்கண்ட வாறு அட்டவணைப்படுத்தவும்.

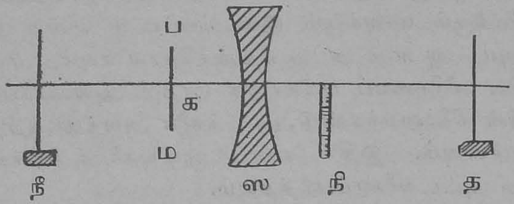
எண்	u	v	$\frac{1}{u}$	$\frac{1}{v}$	$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}$

இதிலே கடைசிக் கலத்தில் கண்ட மதிப்புகள் ஏறக் குறைய சமமாயிருப்பதைக் காணலாம். அவற்றின் பொதுமை கண்டு அதன் முறைமாறலைக் கணக்கிடவும். அதுவே வில்லையின் குவிய நீளமாகும்.

இந்த முறையினுல் காணப்படும் அளவுகள் தோராயமாகவே இருக்கும். குழிவில்லையின் குவிய நீளத்தைத் திருத்தமாக அளவிட வேண்டுமானுல் பின்னுல் விவரிக்கப் போகும் சேர்க்கை முறையையே கையாள வேண்டும்.

(2) குழிவில்லையிலேற்படும் படிவங்களின் நிலை களை நிர்ணயிப்பதற்குக் கீழ்க் கண்ட முறை முன்னைய தினும் சிறந்தது. (படம் 304).

ஸ என்னுமொரு குழிவில்லையை அதன் இருசு படுக்கை வாக்கிலே நிற்கும்படி ஏற்றி வைக்கவும். நீ என்னுமொரு நீண்ட ஊசியை இவ்வில்லைக்குப் பின்னே 50



படம் 304

அல்லது 60 செ. மீட்டர் தூரத்திலே செங்குத்தாக நிறுத்திவைக்கவும். நி என்னுமொரு சமதள ஆடித் துண்டை வில்லைக்கு முன்னால் செங்குத்தாக, இரசம் பூசிய பக்கம் வில்லையை நோக்கி இருக்கும்படி நிறுத்திவைக்கவும். இவ்வாடியின் மேல் விளிம்பு வில்லையின் இருசை ஒட்டி இருக்கவேண்டும். இப்போது த என்னும் மற்றொரு நீண்ட ஊசியை இவ்வாடியின் முன்னே செங்குத்தாக நிறுத்திவைக்கவும். வில்லையின் இருசின் வழியே பார்வையைச் செலுத்தினால், வில்லையினாலேற்பட்ட நீ என்னும் ஊசியினது பொய்ப் படிவத்தின் மேற்பகுதியும், ஆடியினாலேற்பட்ட த என்னும் ஊசியினது பொய்ப்படிவத்தின் கீழ்ப்பகுதியும் கண்ணுக்குப் புலப்படும். இவ்விரண்டு பகுதிகளும் ஒரே கோட்டிலே ஒன்றித் தொடர்ந்து தோன்றும்படியும், அவற்றினிடையே புடைபெயர்ச்சி தோன்றாதிருக்கும்படியும் த-வின் நிலையைச் சரிப்படுத்தவும். இப்போது இரண்டு படிவங்களும் ஒரே இடத்தில் நிற்கின்றன. ஆனால் ஆடியின் பின்னால் த-வின் படிவம் நிற்கும் தூரம் நி த. எனவே வில்லைக்குப் பின்னே நீ-யின் படிவம் நிற்கும் தூரம் நி த — நி ஸ ஆகும். இதுவே v. இதை அள

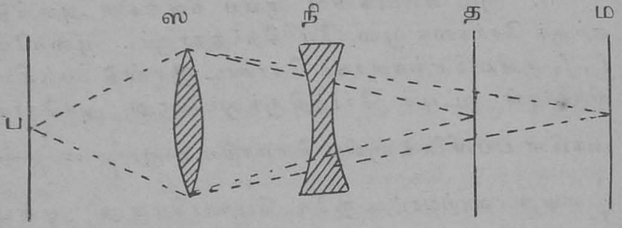
விட்டுக் குறித்துக்கொள்ளவும். ஸநீ என்பது u ஆகும். இதையும் அளவிட்டுக் குறித்துக்கொள்ளவும். நீ-யின் நிலையைப் பலவாருக மாற்றி அவ்வப்போதும் த-வின் நிலையைக்கண்டு u, v-க்களின் அளவுகளை அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும். அவற்றையெல்லாம் முன்னே கூறியபடி அட்டவணையிட்டு $\left(\frac{1}{v}-\frac{1}{u}\right)$வின் பொதுமை மதிப்பைக் கண்டு அதன் முறைமாறலைக் கணக்கிடவும். அதுவே குவிய நீளமாகும்.

3. குழி வில்லைகளின் குவிய நீளங்களை அளவிடு தற்குச் சேர்க்கை முறையே சிறந்ததாகும். முறையே f_1, f_2 குவிய நீளங்களாகக் கொண்ட இரண்டு மெல்லிய வில்லைகள் ஒட்டிச் சேர்ந்திருக்கும்போது, அச்சேர்க்கையின் பயனிலைக் குவிய நீளமாகிய F-ஐ, $\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$ என்ற வாய்பாட்டினுலே பெறலாமென்று முன்பு கண்டோம். அதே தத்துவத்தைக் கையாண்டு குழி வில்லையின் குவிய நீளத்தை அளவிடலாம். குவிய நீளத்தை அளவிடவேண்டிய குழிவில்லையை விட அதிகத் திறமைகொண்டதொரு மெல்லிய குவிவில்லையை எடுத்துக்கொண்டு அவையிரண்டையும் ஒட்டி ஒன்றுசேர்த்தால், அச்சேர்க்கை யொரு குவிவில்லையைப் போலத் தொழிற்படும். இச்சேர்க்கையின் பயனிலைக் குவிய நீளத்தை முன்னே கூறிய முறைகளிலே ஒன்றினுல் காணவும். அது F என்றுகொள்வோம். குவிவில்லையை மட்டும் தனியாக எடுத்து அதன் குவிய நீளத்தையும் தனியே காணவும். இது f_2 என்று கொள்வோம். குழிவில்லையின் குவிய நீளம் f_1 ஆனுல்

$$+\frac{1}{f_1}-\frac{1}{f_2}=-\frac{1}{F} \text{ அல்லது}$$

$-\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}$ ஆகும். எனவே இந்த வாய்பாட்டிலிருந்து $F = \frac{f_2 \ F}{F - f_2}$ ஆகிறது. இந்த வாய்பாட்டினுதவியால் குழிவில்லையின் குவிய நீளமாகிய f_1-வைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

ஒரு குழிவில்லையையும் ஒரு குவிவில்லையையும் ஒட்டாமல் பிரித்துவைத்துக் குழிவில்லயின் குவிய நீளத்தைக் காணும்முறை *(படம் 305)*.



படம் **305**

குவிவில்லையை மட்டும் அதன் இருசு படுக்கைத் திசையிலே இருக்கும்படி ஒரு அளவியின் மத்தியிலே அதன் அருகில் ஏற்றிவைக்கவும். அளவியும், வில்லையின் இருசும் இணையாக இருக்கவேண்டும். அளவியின் ஒரு முனைக்கருகிலே கம்பிச் சல்லடையையும், மற்றொரு முனைக்கருகிலே ஒரு திரையையும் நிறுத்திவைக்கவும். திரையை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி, அதன்மீது விழும் கம்பிச் சல்லடையின் படிவம் திரண்டு விளக்கமாய் இருக்கும்படி சரிப்படுத்தவும். இப்போது நி என்னும் குழிவில்லையை, குவிவில்லைக்கும் திரைக்கும் இடையே அதன் இருசு குவிவில்லையின் இருசோடு ஒன்றியிருக்கும்படி, திரைக்கு அருகிலே ஏற்றிவைக்கவும். நி என்ற இந்த வில்லையின் நிலைக்கும் திரை நிற்கும்

த என்ற நிலைக்கும் இடைப்பட்ட நி த என்ற தூரத்தை அளவிடவும். திரையைச் சற்றுப் பின்னால் நகர்த்தி, கம்பிச் சல்லடையின் படிவம் அதன்மீது திரண்டு தெளிவாக விழும்படி, அத்திரையின் நிலையை ம என்ற இடத்திலே சரிப்படுத்தி வைக்கவும். நி ம என்ற தூரத்தை அளவிடவும். நி த, நி ம என்ற தூரங்கள் முறையே a, b என்றுகொண்டால் $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ என்ற வாய்பாட்டிலே இவற்றை $\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f}$ என்று இட்டு, குழிவில்லையின் f என்னும் குவிய நீளத்தைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

இந்தப் பரிசோதனையின் விளக்கம் வருமாறு:— குழி வில்லையை இடுமுன் கிரணங்களெல்லாம் த-விலே சென்று குவிந்தன. குழி வில்லையை இட்ட பிறகு அவை தடுக்கப்பட்டன. எனவே த என்பது ஒரு பொய்யியல்பு வாய்ந்த பொருள் போன்றது. குழிவில்லையிலே பட்ட கிரணங்கள் பிறகு ம என்ற இடத்திலே சென்று குவிந்தன. எனவே ம என்பது ஒரு மெய்ப்படிவமாயிற்று. சாமானியமாய் நாம் குழிவில்லைகளிலே மெய்ப்பொருள்களைக்கொண்டு பொய்ப்படிவங்களைப் பெறுவது வழக்கம். இங்கே அதற்கு மாறாகப் பொய்ப் பொருளைக் கொண்டு மெய்ப் படிவத்தைப் பெற்றோம். எனவே வில்லைக்குரிய வாய்பாடு இதற்கும் பொருந்தும்.

உதாரணம் 1. ஒரு குவி வில்லையின் முன்னால் 8 அங். தூரத்திலே ஒரு பொருள் நிற்கிறது. இதன் படிவம் வில்லையின் மற்றொரு புறத்திலே 24 அங். தூரத்திலே விழுகிறது. பொருள் வில்லைக்கு 4 அங். தூரத்திலே நின்றால் படிவம் எங்கே தோன்றும்?

வில்லையின் வாய்பாடு $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$.

முதல் வகையிலே பொருளின் தூரம் $u = 8$ அங்.

படிவத்தின் தூரம் $v = 24$ அங். v, f குறைக் குறி ராசிகள்.

எனவே $\frac{1}{24} + \frac{1}{8} = \frac{1}{f}$

அல்லது $f = 6$ அங்.

இரண்டாவது வகையிலே v என்ற தூரத்திலே படிவம் விழுந்தால்

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{4} = -\frac{1}{6}$$

அல்லது $\frac{1}{v} = \frac{1}{4} - \frac{1}{6} = \frac{1}{12}$

ஆகையால் $v = 12$ அங்.

எனவே வில்லையின் முன்னால் 4 அங். தூரத்திலே பொருள் நின்றால் அவ்வில்லையின் அதே புறத்திலே 12 அங். தூரத்திலே அதன் படிவம் தோன்றும்.

உதாரணம் 2. ஒரு குவி வில்லையிலிருந்து 5 மீட்டர் தூரத்திலேயுள்ளதொரு திரையின்மீது விழுமொரு படிவம் பொருளைப்போன்று 5 மடங்கு பெரிதாக இருக்கிறது. வில்லையின் குவிய நீளம் யாது ?

வில்லையின் குவிய நீளம் f என்றும், வில்லைக்கும் பொருளுக்கும் இடைத்தூரம் u என்றும் கொள்வோம். படிவத்தின் தூரம் $v = 5$ மீட்டர். f, v குறைக்குறியாகும்.

படிவத்தின் பெருக்கம் $m = \frac{v}{u} = \frac{5}{u} = 5$

அல்லது $u = 1$

வில்லையின் பொது வாய்பாடு

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

அதாவது $\frac{1}{5} + \frac{1}{1} = \frac{1}{f}$

அல்லது $f = \frac{5}{6}$ மீட்டர் ஆகும்.

எனவே அவ்வில்லையின் குவிய நீளம் $\frac{5}{6}$ மீட்டர் ஆகும்.

உதாரணம் 3. தைக்கும் ஊசி ஒன்று ஒரு குழி வில்லைக்கு 40 செ. மீ. தூரத்தில் வைக்கப்பட்டது. புடை பெயர்ச்சி முறையால் அதன் படிவம் 10 செ. மீ. தூரத்தில் அதே பக்கத்திலிருப்பதாக நிர்ணயிக்கப்பட்டது. வில்லையின் குவிய நீளம் யாது ?

இவ்விடம் $u = +40$ செ. மீ.
$v = +10$ செ. மீ.

ஆகையால் வாய்பாட்டில் ஈடிட $\frac{1}{10} - \frac{1}{40} = \frac{3}{40}$

அல்லது $f = 13\frac{1}{3}$ செ. மீ.

உதாரணம் 4. 15 அங். குவிய நீளம் கொண்டதொரு குவி வில்லை 12 அங். குவிய நீளம் கொண்ட மற்றொரு குவி வில்லையோடு ஒட்டி வைக்கப்பட்டது. இச் சேர்க்கையின் குவிய நீளம் யாது? இரண்டாவது வில்லை குழியாய் இருப்பின் குவிய நீளம் யாதாகும் ?

வில்லைச் சேர்க்கையின் குவிய நீளத்திற்குரிய வாய்பாடு வருமாறு :— $\frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}$

முதல் குவி வில்லையின் குவிய நீளம் $f_1 = -15$ அங்குலம்.

இரண்டாவது குவி வில்லையின் குவிய நீளம் $f_2 = -12$ அங்குலம்.

எனவே சேர்க்கையின் குவிய நீளம் F என்று கொண்டால் $-\frac{1}{15} - \frac{1}{12} = \frac{1}{F}$ ஆகும்.

அதாவது $F = -\frac{180}{27} = 6 \cdot 6$ அங்.

எனவே சேர்க்கை 6·6 அங். குவிய நீளம்கொண்ட குவி வில்லையைப் போன்றிருக்கும்.

இரண்டாவது வில்லை குழியாயிருப்பின் அதன் குவிய நீளம் $f_2 = +\frac{1}{12}$; $\frac{1}{F} = -\frac{1}{15} + \frac{1}{12} = +\frac{1}{60}$

$\therefore F = 60$ அங்.

எனவே சேர்க்கை 60 அங். குவிய நீளம்கொண்ட குழி வில்லையைப் போன்றிருக்கும்.

உதாரணம் 5. ஒரு பொருளுக்கும் திரைக்குமுள்ள இடைத்தூரம் 100 செ. மீ. இவற்றினிடையே ஒரு குவி வில்லை இரண்டிடங்களிலே நிற்கும்போது திரையின் மீது தெளிவான படிவங்கள் ஏற்படுகின்றன. வில்லையின் இவ்விரண்டு நிலைகளுக்கு மிடைத்தூரம் 12 செ. மீட்டர். வில்லையின் குவிய நீளத்தையும், இரண்டு படிவங்களின் பெருக்கங்களையும் காண்க.

இதற்குரிய வாய்பாடு வருமாறு :

$$f = \frac{l^2 - d^2}{4l}$$

இதில் l என்பது பொருளுக்கும் படிவத்திற்கு மிடைத்தூரம், d என்பது வில்லையின் இரண்டு நிலை களினிடைத்தூரம். f என்பது வில்லையின் குவிய நீளம். எனவே கணக்கின்படி,

$$f = \frac{100^2 - 12^2}{4 \times 100} = \frac{9856}{400} = \mathbf{24{\cdot}6} \text{ செ. மீ.}$$

ஸ த ப நி

படம் 306

ஸ, நி என்ற இடங்களில் பொருளும் திரையும் இருக்கின்றதாகக் கொள்வோம் (படம் 306).

ஸ நி-யின் தூரம் 100 செ. மீ. முதலில் த என்ற இடத்தில் வில்லை நின்றபொழுது நி-யிலிருக்கும் திரை யில் படிவம் விழுகிறது. எனவே ஸ த = u என்றும், த நி = v என்றும் கொள்வோம்.

த-விலிருந்து 12 செ. மீ. தூரம் நகர்த்தினால் மறு படியும் நி-யில் படிவம் விழுகின்றது. இப்பொழுது ப நி என்பது u ஆகவும், ஸ ப = v ஆகவும் இருக்கும். எனவே $2u + 12 = 100$. $u = 44$, $v = 56$.

ஆகையால் முதலிடத்தில் பெருக்கம் $\frac{56}{44} = \frac{14}{11}$ ஆகவும்,

இரண்டாவது இடத்தில் $\frac{11}{14}$ ஆகவும் இருக்கும்.

வினாக்கள்

1. ஒரு மெல்லிய வில்லையைப்பற்றிய வரையில் கீழ்க்கண்ட பதங்களின் பொருள்களை விளக்குக.

குவிய நீளம், குவியத் திறமை, மையம், பிணைவுக் குவியங்கள், பிரதம குவியம்.

ஒரு மெல்லிய வில்லையைக்கொண்டு அதன் பிணைவுக்கு குவியங்களில் ஒரு ஜதையைக் காண்பதற்கான வடிவியல் காரணத்தை எடுத்துக் கூறுக.

20 செ. மீ. குவிய நீளம் கொண்டதொரு மெல்லிய வில்லை, பொருளைப்போன்று மூன்று மடங்கு நீளம் கொண்டதொரு படிவத்தை யுண்டாக்குகிறது. பொருளுக்கும் படிவத்திற்கும் இடைத்தூரம் யாது? எது வில்லைக்கு அருகிலே நிற்கும்.

(சென்னை : மார்ச்சு, 1921)

2. ஒரு ஊசிக்கண் பெட்டியின் நீளம் 7 அங். 40 அடி உயரமுள்ள வீட்டின் படிவம் இப்பெட்டியிலே·4 அங். உயரமுள்ளதாகத் தலைகீழாகக் காணப்படுகிறது வீட்டிற்கும் இப்பெட்டிக்குமுள்ள தூரம் யாது?

3. 'புடைபெயர்ச்சி' முறையைத் தெளிவாக விளக்குக.

ஒரு குவி வில்லை, ஒரு சமதள ஆடி, ஒரு குண்டூசி இவற்றைக்கொண்டு அக்குவிவில்லையின் குவிய நீளத்தை எவ்வாறு காணலாமென்று எடுத்துரைக்கவும்.

(காசி : 1930)

4. ஒரு சாமானிய மூக்குக் கண்ணாடியின் வில்லைகள் குழிந்ததா அல்லது குவிந்ததா என்று எவ்வாறு எளிதாய்க் காணலாம். தக்க காரணங்களோடு விடை கூறுக.

10 செ. மீ. குவிய நீளங்கொண்ட ஒரு குவிவில்லையைக்கொண்டு 3 மடங்கு பெருக்கத்தைப் பெறவேண்டுமானுல் அதற்கு இரண்டு வழிகள் உண்டு என்பதைக் காட்டுக. அவ்வாறு ஏற்படும் படிவங்களின் இயல்புகளையும் அவற்றின் நிலைகளையும் காண்க.

(சென்னை : எப்ரல் 1929)

5. பொய்ப் படிவங்களுக்கும் மெய்ப்படிவங்களுக்குமுள்ள வேற்றுமை காண்க.

ஒரு காலியான மலர்ச் சாடி ஒரு குவிவில்லைக்கு 50 செ. மீ. தூரத்திலே இருக்கிறது. இந்த வில்லையின் குவிய நீளம் 20 செ. மீட்டர். தக்க இடத்திலிருந்து பார்க்குமொருவனுக்கு ஒரு மலர்க்கொத்து இச்சாடியிலே இருப்பதாகத் தோன்றவேண்டுமானுல் அம்மலர்க் கொத்தை எந்த இடத்திலே வைக்கவேண்டும்.

(பாட்ன 1933)

6. பொருளுக்கும் படிவத்தை யேற்கும் தட்டிற்குமிடைத்தூரமாகிய l மாறிலியாக நிற்க, இவற்றினிடையே ஒரு குவிவில்லை நிற்கும் இரண்டு நிலைகளிலே படிவம் தோன்றும் என்பதைப் படம்வரைந்து காட்டுக. வில்லையின் இரண்டு நிலைகளுக்கும் இடைத்தூரம் d ஆனுல் $f = \dfrac{l^2 - d^2}{4l}$ என்று காட்டுக.

$l = 50$ செ. மீ., $d = 18{\cdot}6$ ஆனுல் வில்லையின் குவிய நீளத்தையும் ஏதேனுமொரு நிலையிலே பெருக்கத்தையும் கணக்கிடுக.

(ஆந்திரா : மார்ச்சு, 1934)

7. 6 செ. மீ. குவிய நீளம் கொண்டதொரு குவிவில்லை 4 செ. மீ. ஆரம் கொண்டதொரு குழியாடியின் எதிரிலே 10 செ. மீ. தூரத்திலே நிறுத்தப்பட்

டது. வில்லையின் முன்னல் 5 செ. மீ. தூரத்திலே வைக்கப்பட்ட 2 செ. மீ. உயரம்கொண்டதொரு பொருளின் படிவத்தின் நிலையைக் காண்க.

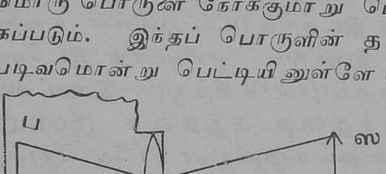
8. ஒரு குவியாடியின் முன்னல் 14 செ. மீ. தூரத்திலே ஒரு குவிவில்லை நிறுத்தப்பட்டது. வில்லையின் முன்னல் 20 செ. மீ. தூரத்திலே ஒரு பொருளை வைக்க அதன் படிவம் அப்பொருளின் மீதே விழுந்தது. வில்லையின் குவிய நீளம் 10 செ. மீ. எனக்கொண்டு ஆடியின் குவிய நீளம் 6 செ. மீ. என்று காட்டுக.

9. ஒரு குவிவில்லையினலேற்பட்டதொரு படிவம் பொருளினின்று 32 அங். விலகி இருக்கிறது. இப்படிவம் தலைகீழாக நிற்கிறது. அதன் அளவு பொருளைப் போன்று 3 மடங்கு இருக்கிறது. வில்லையின் நிலையையும் அதன் குவிய நீளத்தையும் காண்க.

அத்தியாயம் 6

ஒளியியல் கருவிகள் (Optical Instruments)

உருவப்படப்பெட்டி (Photographic camera):— இந்தக் கருவியின் இன்றியமையாத பாகங்கள் (1) ஒளியிறுக்கமானதொரு பெட்டி, (2) இதன் வாயிலில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் ஒரு குவிவில்லையமைப்பு, (3) படிவத்தை ஏற்றுக்கொள்ளும் தேய்த்த கண்ணாடித் திரை. கண்ணாடித் திரைக்கும் வில்லைக்குமிடைப்பட்ட தூரத்தை நாம் விரும்பியபடி மாற்றிக்கொள்ள இயலுமாறு இப்பெட்டியின் சுவர்கள், துருத்தியின் புறங்கள் போன்று, பல மடிப்புகளுடையனவாய்ச் செய்யப்பட்டிருக்கின்றன. வில்லை தூரத்திலுள்ள ஸநி என்னுமொரு பொருளை நோக்குமாறு பெட்டி திருப்பிவைக்கப்படும். இந்தப் பொருளின் தப என்னும் மெய்ப்படிவமொன்று பெட்டியினுள்ளே விழும். கண்ணாடித் திரையை முன்னும் பின்னும் அசைப்பதற்காக ஒரு திருகு வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இத்திருகைக்கொண்டு தப என்னும் படிவம் கண்ணாடித் திரையின்மீது திரண்டு தெளிவாகக் குவியும்படி செய்யப்படும். (படம் 307).



படம் 307

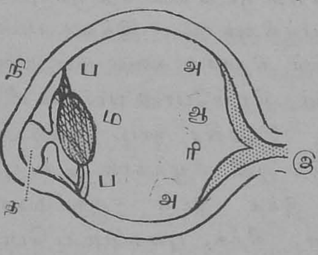
இப்போது வில்லையினுள் ஒளி நுழையாதபடி அதன் வாயை நன்றாக மூடிவிட்டு, கண்ணாடித் திரை நின்ற இடத்திலே உருவப்படத்தட்டு வைக்கப்படும். உருவப்படத்தட்டு கண்ணாடியினாலானது. இதன் ஒரு

புறத்திலே 'ஜெலாடின்' (Gelatin) எனப்படும் பசை வெள்ளிச் சோரிதை (Silver bromide) முதலிய உப்புகளின் கலவையோடு சேர்த்துப் பூசப்பட்டிருக்கும். இந்த உப்புகளின்மீது ஒளி தொழிற்படக்கூடும். இத்தகைய தட்டு, முன்பு தேய்த்த கண்ணாடித் திரை நின்ற நிலையிலே வைக்கப்படும். வில்லையின் முகத்தைச் சற்றே திறந்து மறுபடியும் மூடப்படும். உருவப்படத்தட்டின் மீது விழுந்த ஒளி அதன்மீது தடவப்பட்டுள்ள வெள்ளி உப்புகளின்மீது தொழிற்பட்டு அவற்றிலே இரசாயன மாறுபாடுகளை உண்டாக்குகிறது. இத்தட்டின்மீது ஒளிபடாதபடி மூடி, வெளியே எடுத்து, ஒரு இருட்டறையில் இருந்துகொண்டு 'உருத்துலக்கி' நீர் (Developer solution) எனப்படும் ஒரு இரசாயனக் கலவைக் கரைநீரிலே இத்தட்டு தோய்த்தெடுக்கப்படும். இதனால் ஒளியிட்ட இடத்திலுள்ள உப்பெல்லாம் வெள்ளியாக மாறிக் கருநிறத்தோடு தோன்றும். இக்கருநிறத்தின் உறைப்பு அந்த இடத்தில் பட்ட ஒளியின் உறைப்புக்குத் தக்கவாறு இருக்கும். ஒளிபடாத இடமெல்லாம் முன் போலவே உப்புகளாக நிற்கும். இத்தட்டை மறுபடியும் உவரக்குறை கந்தசை (Sodium hyposulphite) என்னும் உப்புக்கரை நீரிலே தோய்த்துக் கழுவப்படும். இது பதிவு செய்தல் எனப்படும். இப்போது ஒளிபட்டு வெள்ளியாகிய பகுதி தவிர மற்றெல்லாப் பகுதிகளும் இந்தக் கரைநீரிலே கரைந்து போய்விடும். இதன் பிறகு இத்தட்டைத் தூய தண்ணீர்த் தாரையிலே நன்றாகக் கழுவிக் காற்றிலே உலர வைக்கப்படும். இவ்வாறு எடுக்கப்பட்ட தட்டிலுள்ள படம் 'மாறு படம்' (Negative) எனப்படும். பொருளிலே ஒளிபட்ட இடமெல்லாம் இதில் கறுத்தும், பொருளிலே இருண்டிருந்த இடமெல்லாம் இதில் வெளுத்தும் தோன்றும். இந்த மாறுபடத் தட்டோடு

ஒரு உருவப்படத்தாள் ஒட்டிவைக்கப்படும். சிறிது நேரம் வெளிச்சத்தில் காட்டப்படும். பின்பு அந்தத் தாள் இருட்டறையிலே விளக்கப்பட்டுப் பின்னர் பதிவு செய்யப்பட்டுக் கழுவி உலர்த்தப்படும். இத் தாளிலே நாம் படம்பிடித்த பொருளின் உண்மையான படிவமொன்று தோன்றும். இதுவே உருவப்படமெடுக்கும் முறை.

கண் (Eye) :—நமது கண்ணும் ஒரு உருவப்படப் பெட்டி போன்றதேயாகும். அதிலேயுள்ளதொரு குவி வில்லை, வெளியேயுள்ள பொருளின் சுருங்கிய தலை கீழான மெய்ப்படிவமொன்றை, அதன் பின்னாலிருக்கும் அக்ஷிப்படலம் (Retina) எனப்படும் திரையின்மீது விழச்செய்கிறது. இத்திரையின் மீதெங்கும் பரவியுள்ள 'நேத்திர நாடிகள்' (Optic nerves) எனப்படும் நரம்புகள் இந்தப் படிவத்தை உணர்ந்து அந்த உணர்ச்சியை மூளைக்குப் புலப்படுத்துகின்றன.

கண்ணினது வெட்டுவாயின் படமொன்று காட்டப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 308). கண் பெரும்பாலும் தெளியியல்பு வாய்ந்த ஏறக்குறைய கோள வடிவானதொரு தசைப்பிண்டமாகும். இதன் முன்புறமொழிய மற்றைய எல்லாப் புறங்களும் தகைக்குமியல்பு வாய்ந்த தசைக் குழியினுள்ளே அழுந்தி இருக்கும். வெளியே தெரியும் இதன் முன் புறத்தைப் போர்த்திருக்கும் மூடி விழி (cornea) எனப்படும். இது படத்திலே ஸ என்று குறிக்கப்பட்டுள்ளது. இது தெளியியல்பு வாய்ந்த ஒரு



படம் 308

பலகணி போன்றது. இதன் வழியாக ஒளி உட் சென்று ம என்னும் ஒரு தசைவில்லை மீது படும். அந்த வில்லை ப என்னும் சில தசைநார்களால் கண்ணின் சுவர்களோடு இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. இந்த வில்லையின் முன்னே நி என்னும் கருநிறமான ஒரு விதானம் (diaphragm) இருக்கிறது. இதுவே கருவிழி (iris) எனப்படும். இக்கருவிழியின் நடுவிலே ஒரு துவாரம் இருக்கிறது. இதுவே 'கண்ணினுள் மணி' (pupil) எனப்படுவது. இத்துவாரம் சுருங்கி விரியும் தன்மைவாய்ந்தது. ஒளி அதிகமாக இருக்கும்போது இது சுருங்கிவிடும். ஒளி மங்கியிருக்கும்போது இது விரிந்துகொள்ளும். இந்நிகழ்ச்சிகள் நமது விருப்பப் படியன்றி தாமாகவே நிகழும். விழிக்கும் வில்லைக் கும் இடைப்பட்ட த என்னும் இடம் ஒருவிதத் தெளி யியல்பு வாய்ந்த திரவத்தால் நிரம்பி இருக்கும். வில்லைக் கும் அ என்னும் அக்ஷிப்படலத்திற்கும் இடைப்பட்ட ரீ என்னுமிடம் தெளியியல்பு வாய்ந்த மற்றொரு வகைத் திரவத்தால் நிரம்பி இருக்கும். அக்ஷிப்படலமோ நேத்திர நாடியின் முனையிலிருந்து கிளைத்திருக்கும் பல நரம்புகளால் படரப்பெற்றிருக்கும். இந்தப் படலத் தின் மையத்திலே மஞ்சள் நிறமான கறை ஒன்றுண்டு. இக்கறையின்மீது படிவம் விழும்போது பார்வை மிகத் தெளிவாகத் தெரியும். நேத்திர நாடி அக்ஷிப்பட லத்தோடு சேருமிடத்தில் ஒளி விழுந்தால் அது புலப் படுவதில்லை. எனவே இந்த இடம் 'குருட்டுவாய்' (blind spot) எனப்படும். நிற்க, புகைப்படப் பெட்டி யிலே திரையை முன்னும் பின்னும் நகர்த்திப் படி வத்தை அதன்மீது குவியச் செய்கிறோம். ஆனால் கண் ணிலோ படிவத்தை ஏற்றுக்கொள்ளும் திரையாகிய அக்ஷிப்படலம் அசையாது நிற்க, வில்லையின் குவிய நீளம் தக்கவாறு மாற்றிச் சரிப்படுத்தப்படுகிறது.

வில்லையோ நெகிழும் தன்மை வாய்ந்தது. எனவே வில்லையைச் சுற்றிக் கட்டியிருக்கும் தசைநார் வேண்டியபடி பிரு வேறுபாடடைந்து வில்லையின் முன் முகத்தின் வளைவை வேண்டியவாறு மாற்றி யமைத்துவிடுகிறது. இவ்வாறு பலவேறு தூரங்களிலிருக்கும் பொருள்களுக்குத் தக்கவாறு தன் குவிய நீளத்தை மாற்றிக்கொள்ளும் திறமையே கண்ணினது ஒத்தியங்குதிறம் (accommodation) எனப்படும். இத்திறம் வரம்பற்றதல்ல. இதனால் மிக நெருங்கி இருக்கும் பொருள்களைக் கண்ணினால் பார்க்கமுடியாது. சாமானியமாய் நமது கண்ணைக்கொண்டு 25 செ. மீட்டருக்குக் குறைந்த தூரத்திலிருக்கும் பொருளைத் தெளிவாகப் பார்க்கமுடியாது. இந்தத் தூரமே "கண்பார்வையின் நீச தூரம்" எனப்படும். ஒரு பொருளைத் தெளிவாகப் பார்க்கக்கூடிய தூர எல்லை 'கண்பார்வையின் உச்ச தூரம்' எனப்படும்.

நல்ல நிலையில் உள்ள கண் வரம்பற்ற தூரம்வரை பொருள்களைப் பார்க்கக்கூடும்.

பார்வையிலேற்படும் ஊனங்கள் :-கண்பார்வையிலேற்படும் ஊனங்களிலே நான்கை மட்டும் கண்ணாடிகளால் நிவர்த்திக்கலாம். அவையாவன :—

(1) கிட்டப் பார்வை அல்லது சாளேசரம் (Short-sight or myopia).

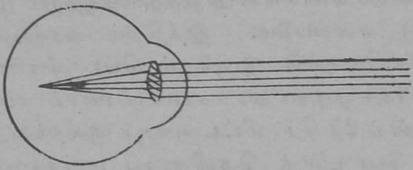
(2) தூரப்பார்வை அல்லது வெள்ளெழுத்து (Long-sight or hypermetropia)

(3) பார்வை மூப்பு (Presbyopia)

(4) ஒருதளப் பார்வை (astigmatism)

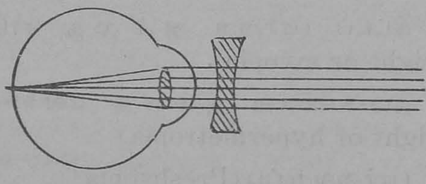
1. கிட்டப் பார்வை அல்லது சாளேசரம் (படம் 309 (1)). இந்த ஊனம் ஏற்பட்டவர்கள் தூரவிருக்கும்

பொருள்களைப் பார்க்கமுடியாது. மிகநெருங்கி இருக்கும் பொருள்களை மட்டுமே பார்க்கக்கூடும். இது வில்லையின் குவிய நீளம் குறைந்துவிடுவதால் ஏற்படுகிறது. இதனால் தூரத்திலுள்ள பொருள்களின் படிவங்கள் அக்ஷிப்படலத்தின்மீது சென்று குவியாமல் அதற்கு முன்னாலேயே குவிந்துவிடுகின்றன. ஆகை



படம் 309 (1)

யால் தூரத்திலுள்ள பொருள்களைப் பார்க்க முடிவதில்லை. ஆனால் அருகிலுள்ள பொருள்களை மட்டும் நன்றாகப் பார்க்கலாம். இந்த ஊனத்தைப் போக்கக் குழிவில்லையைக் கொண்ட மூக்குக் கண்ணாடிகளை அணிந்துகொள்ள வேண்டும். இக்குழிவில்லையையும் கண்ணினது வில்லையையும் சேர்ந்த சேர்க்கையின் குவிய நீளம் கண்வில்லைக்கும் அக்ஷிப்படலத்திற்கு மிடைப்பட்ட தூரத்திற்குச் சமமாய் இருக்கவேண்டும் (படம் 309 (2)).

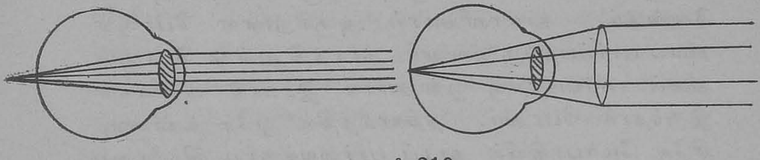


படம் 309 (2)

உதாரணமாக ஒருவன் 50 செ. மீ. தூரம் வரையில் தான் தெளிவாகப் பார்க்கக்கூடுமென்று வைத்துக்கொள்வோம். அவன் அணிந்துகொள்ளவேண்டிய வில்லையின்

திறமையை இப்போது நாம் கணக்கிடுவோம். பொருள் கந்தழியில் இருந்தால் அதனின்று வரும் கிரணங்கள் அவன் அணிந்திருக்கும் வில்லையில் புகுந்து 50 செ. மீ. தூரத்தில் படிவத்தை உண்டாக்கவேண்டும். எனவே அக்குழிவில்லையின் குவிநீளம் 50 செ. மீ. ஆகிறது. 50 செ. மீ. உட்பட்ட பொருள்களைக் கண்ணினது ஒத்தியங்கு திறமையினால் அவன் பார்க்கக்கூடும். ஆகையினால் குழிவில்லையின் திறமை $\frac{1}{50/100}$ அல்லது (—2) குவிப்பாக விருக்கவேண்டும்.

2. தூரப் பார்வை அல்லது வெள்ளெழுத்து :— (படம் 310). இந்த ஊனத்தை உடையவர்கள் அருகில் இருக்கும் பொருள்களைப் பார்க்கமுடியாது. தூரத்திலிருக்கும் பொருள்கள் மட்டுமே அவர்களுக்குக் கண்ணில் புலப்படும். இது கண் வில்லையின் குவிய நீளம்



படம் 310

அதிகரித்துவிடுவதால் ஏற்படுகிறது. இதனால் அருகில் உள்ள பொருள்களின் படிவங்கள் அக்ஷிப்படலத்தைத் தாண்டிப் பின்னால் சென்று குவிகின்றன. இந்த ஊனத்தை நிவர்த்திக்கவேண்டுமானால் குவிவில்லைகளைக் கொண்ட மூக்குக் கண்ணாடிகளை அணிந்துகொள்ள வேண்டும். இக்கண்ணாடி வில்லையையும் கண் வில்லையும் சேர்ந்த சேர்க்கையின் குவியநீளம், கண்வில்லைக்கும் அக்ஷிப்படலத்திற்கும் இடைப்பட்ட தூரத்திற்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும். நல்ல நிலையில் உள்ள கண்ணையுடையவர்களுக்கு நீச எல்லை 25 செ.மீ. ஆகும்.

வெள்ளெழுத்துடையவர்களுக்கு இந்த எல்லை 25 செ. மீட்டரைவிட அதிகமாக இருக்கும். அவர்கள் வேலை செய்யும்போது உற்றுப்பார்க்கவேண்டிய பொருள் களைச் சிறிது தூரத்திலே எட்டிப்பிடித்தே பார்ப்பார் கள். ஒருவருக்கு இந்த கீச எல்லை 100 செ. மீ. என்று கொள்வோம். இந்த ஊனத்தைத் திருத்த வேண்டுமானல் 25 செ. மீ. தூரத்திலுள்ளதொரு பொருள் கண்ணாடியினுதவியால் 100 செ. மீ. தூரத்தி லிருப்பதுபோலத் தோன்றச் செய்யவேண்டும். எனவே இக்கண்ணாடி வில்லையின் குவிய நீளம் f ஆனல்

$\frac{1}{100}-\frac{1}{25}=\frac{1}{f}$ அல்லது $f=-33\cdot3$ செ. மீ. ஆகும்.

எனவே இந்த கண்ணாடியைக்கொண்டு 25 செ. மீட்டருக் கும் 33·3 செ. மீட்டருக்கும் இடையிலுள்ள பொருள் களைப் பார்க்கக்கூடும். 33·3 செ. மீ. அப்பால் உள்ள பொருள்களைப்பார்ப்பதற்கு மற்ருெரு வில்லையை அணிய வேண்டும். சாமானியமாய் அருகிலுள்ள பொருள் களைப் பார்ப்பதற்கு ஒன்றும் தூரத்திலுள்ள பொருள் களைப் பார்ப்பதற்கு ஒன்றுமாக இரண்டு வில்லைகள் இருந்தால் போதும். தற்காலத்தில் ஒரே கண்ணாடி யிலே மேல்பாதியில் தூரப் பார்வைக்குரிய வில்லையை யும், கீழ்ப்பாதியில் அண்மைப் பார்வைக்குரிய வில்லையை யும் பொருத்தி வைக்கிருர்கள்.

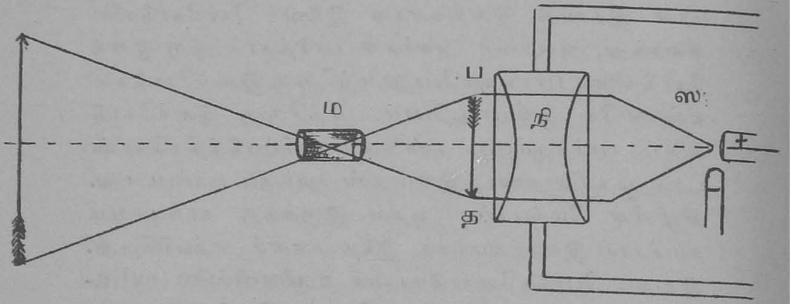
3. பார்வை மூப்பு :—இது சாமானியமாய் வய தான கிழவர்களுக்கு ஏற்படுவது. இதற்குக் காரணம் கண்ணினது ஒத்தியங்குதிறத்தின் குலைவேயாகும். கண்வில்லையின் உருவத்தை மாற்றி அமைக்கும் தசை நார் நெகிழாமல் விறைத்துப்போவதால் அதன் குவிய நீளத்தை நாம் விரும்பியபடி மாற்றமுடிவதில்லை. இந்த ஊனமுடையவர்களுக்குத் தூரத்திலுள்ள பொருள் கள் புலப்படும். ஆனல் அருகிலிருக்கும் பொருள்கள்

தெளிவாகப் புலப்படமாட்டா. இவர்கள் படிப்பதற்கும் எழுதுவதற்கும் நல்ல திறமை வாய்ந்த குவிவில்லைகள் கொண்ட கண்ணாடிகளையும், மற்ற வேலைகளுக்குக் குறைந்த திறமைவாய்ந்த கண்ணாடிகளையும் அணிந்து கொள்ளவேண்டும்.

ஒருதளப் பார்வை :—இந்த ஊனமுடையவர்களின் கண் வில்லையின் குவிய நீளம் ஒன்றுக்கொன்று லம்பமான இருதளங்களிலே வெவ்வேருக இருக்கும். அதாவது ஒரு அட்டையின்மீது ஒன்றுக்கொன்று லம்பமான இரண்டு இனங்களான இணை நேர்கோடுகளை வரைந்து, அவற்றை அவர்கள் பார்த்தால் ஒரு இனக் கோடுகளைப் பார்க்கும்போது மற்றொரு இனக்கோடுகள் கண்ணிலே குவியாதுபோம். மற்றொரு இனக்கோடுகளைப் பார்க்கும்படி கண்ணைச் சரிப்படுத்திக்கொண்டால் முதலில் கண்ட இனம் கண்ணுக்குப் புலப்படாது. விழியின் மேற்பரப்பு அதன் இருசுக்கு காற்புறமும் சமசீராய் இல்லாமையால் இந்த ஊனம் ஏற்படுகிறது. இதைப் போக்கவேண்டுமானல் உருளைவில்லை (cylindrical lens) களை அணிந்துகொள்ளவேண்டும்.

வீச்சு விளக்கு (Optical lantern) :—(படம் 311). இதிலே பிரகாசமானதொரு ஊற்றுக்கண்ணிலிருந்து வெளிப்படும் ஒளிக்கிரணங்களெல்லாம் ஒருமுகப்படுத்தப்பட்டுத் தெளியியல்பு வாய்ந்ததொரு படத்தின் வழியாகச் சென்று ஒரு குவிவில்லை அமைப்பிலே கோட்டமடைந்து, தூரத்திலுள்ளதொரு திரையின்மீது சென்று குவிந்து படத்தின் படிவத்தை அத்திரையிலே தோற்றுவிக்கின்றன. இதன் இன்றியமையாத பகுதிகளைப் படத்திலே பார்க்கவும். த ப என்பது படத்தைக் கொண்டுள்ள தெளியியல்பு வாய்ந்த நழுவம் (Slide). இது தலைகீழாக வைக்கப்பட்டிருக்கும்.

ஸ என்பது பிரகாசமான ஒளிஊற்றுக்கண். இதிலிருந்து வெளிப்படும் ஒளிக்கிரணங்களெல்லாம் நி என்னும் கவிகையினுல் (Condenser) ஒன்ருகக் குவிக்கப்பட்டு நழுவத்தின்மீது செலுத்தப்படும். இந்தக் கவிகையிலே இரண்டு தள-முகுள வில்லைகள் அவற்றின் தளமுகங்கள் வெளிப்புறமாக இருக்கும்படியாக அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இக்கவிகை நழுவத்தின்மீது விழும் ஒளியை அதிகரிப்பதோடு தன்மீது விழும் ஒளியெல்லாம் நழுவத்தைத் தாண்டியபின் ம என்னும்



படம் 311

வில்லையமைப்பின் உள்ளே புகும்படியும் செய்விக்கிறது. ம என்னும் வில்லையமைப்பு 'வீச்சு வில்லை' (Projecting lens) எனப்படும். இது இரண்டு குவிவில்லைகளின் சேர்க்கையாகும். இதன் குவியத்திற்குச் சற்றே தள்ளி வெளியே நழுவம் நிற்கும். எனவே இந்நழுவத்தின் விரிந்த தலைகீழ் மெய்ப்படிவமொன்று தூரத்திலேயுள்ள திரையின்மீது விழும். இப்படிவம் சரியாகத் திரையின் மீதே குவியும்படி செய்ய ம என்னும் வில்லையை ஒரு திருகினுதவியால் முன்னும் பின்னும் நகர்த்தலாம். இந்தப் படிவத்தின் பிரகாசமும் விளக்கமும் அதன்மீது விழும் வெளிச்சத்தையே சார்ந்தது. எனவே

இதற்கு நல்ல திறமை வாய்ந்த ஊற்றுக்கண்கள் அவசியம். இதற்கு பிறை-விளக்கு (arc-lamp) அல்லது சுண்ண விளக்கு (Lime light) உபயோகிக்கப்படும்.

தற்காலத்தில் இந்த வீச்சு விளக்கிலே மற்ருெரு வகை செய்யப்பட்டு வழங்கி வருகிறது. இது இரண்டு பகுதிகள் கொண்டது. (1) தகைக்குமியல்பு வாய்ந்த பொருள்களின் படிவங்களை வீசுவதற்கும் (2) சாமானியமான தெளியியல்பு வாய்ந்த நழுவங்களின் படிவங்களை வீசுவதற்கும் பயன்படுகிறது. இதிலே மிகப் பிரகாசமான ஒளி ஊற்றுக்கண் உண்டு. இதன் ஒளி தகைக்கும் பொருள்களின்மீது வீசப்பட்டுச் சிதறிய வெளிச்சத்தைத் தக்க பிரதிபலனிகளால் (Reflectors) ஒன்ருகக் குவிக்கப்பட்டு முற்கூறியபடியே கவிகை, வீச்சு வில்லை, இவற்றின் வழியாகத் திரையின்மீது வீசப்படும்.

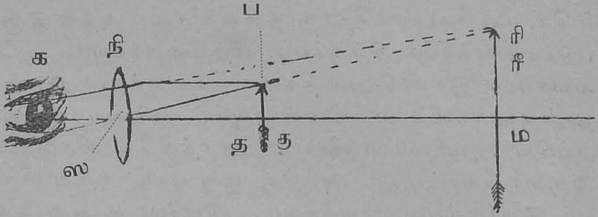
சாமானிய அணு தரிசனி (Simple microscope) :—ஒரு பொருள் நமது கண்ணுக்குப் புலப்படும் போது அதன் பருமையைக் கண் ஒருவாறு மதிப்பிடுகிறது. இவ்வாறு கண்ணுக்குத் தோன்றும் அளவு அப்பொருளின் ‘ தோற்றப் பருமை ’ (apparent size) எனப்படும். இத்தோற்றப் பருமை அப்பொருளினுல் கண்ணிலுள்ள அக்ஷிப்படலத்தின் ஏற்படும் படிவத்தின் அளவுக்கு ஏற்பவுள்ளது. பொருள் தூரச் செல்லச் செல்ல அதனுல் அக்ஷிப்படலத்தில் ஏற்படும் படிவத்தின் அளவு சுருங்கும். எனவே தூரத்திலுள்ள பொருள்களின் தோற்றப் பருமை சிறியதாகும். தூரத்திலுள்ள பொருள்கள் அதே அளவுடைய அருகிலிருக்கும் பொருள்களைவிடச் சிறியதாகத் தோற்றுவது வெளிப்படை. இதற்கெல்லாம் காரணம் அப்பொருள்களால் அக்ஷிப்படலத்திலேற்படும் படிவங்கள் சிறியனவாய் இருப்பதேயாகும். ஒரு பொருளின் இத்தோற்றப்

பருமையை அப்பொருள் காண்போனது கண்ணிலே எதிர்கொள்ளும் கோணத்தைக் கொண்டு அளக்கப்படும். இந்தக் கோணம் காட்சிக் கோணம் (visual angle) எனப்படும்.

நிற்க, ஒரு பொருளின் தோற்றப்பருமை அப்பொருள் காண்போனது கண்ணிற்குரிய அணிமை எல்லையிலே (Near point) இருக்கும்போது உச்ச நிலையை அடையும். இதைவிட அருகிலே வந்துவிட்டால் தோற்றப் பருமை அதிகரிப்பது உண்மையே. ஆனால் பொருள் கண்ணுக்குத் தெளிவாகத் தெரியாது. எனினும் ஒரு குவிவில்லையை இடையிலே வைத்துக்கொண்டு பார்த்தால், பொருள் அணிமை எல்லையைவிட நெருங்கிக்கொண்டு வந்தபோதும், அப்பொருள் தெளிவாகவே கண்ணுக்குப் புலப்படும். இதற்குக் காரணம் இவ்வில்லையினாலேற்பட்ட பொய்ப்படிவம் வில்லையிலிருந்து பொருளைவிட அதிக தூரம் விலகி இருப்பதேயாகும். படத்திலே ஒரு குவிவில்லை இவ்வாறு தொழிற்படும் முறை நன்கு விளக்கப்பட்டிருக்கிறது. குவிவில்லை இவ்வாறு தொழிற்படும்போது அது ஒரு சாமானிய 'அணு தரிசனி' எனப்படும்.

(படம் 312). க என்பது கண்ணைக் குறிப்பதாகவும், த ப என்பது பொருளென்றும், ஸ நி என்பது இவற்றினிடையே வைக்கப்பட்ட ஒரு குவிவில்லை என்றும், கு என்பது இந்த வில்லையின் குவியமென்றும் கொள்வோம். வில்லைக்கும் பொருளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் குவியநீளத்தைவிடக் குறைவானது என்பதைக் கவனிக்கவும். இப்போதுதான் பொருளின் விரிந்த பொய்ப்படிவத்தைப் பெற முடியும். வடிவியல் முறைப்படி கரணங்கள் செய்து இப்படிவம் ம ரி என்று காட்டப்பட்டுள்ளது. த ப-விலிருந்து புறப்படும் கிர

ணங்களெல்லாம் வில்லையிலே கோட்டமடைந்தபின்னர் மரீ-யிலிருந்து வெளிப்படுவதாகத் தோன்றும். மரீ என்னும் இப்படிவம் கண்ணினது 'அணிமை எல்லை' யிலே நிற்கும்படி வில்லையைச் சரிப்படுத்திவைக்கவேண்



படம் **312**

டும். இப்படிவம் அணிமை எல்லையில் நின்று கண்ணிலே எதிர்கொள்ளும் கோணத்திற்கும், பொருள் அதே இடத்தில் தனியாக நின்றால் அது கண்ணிலே எதிர் கொள்ளக்கூடிய கோணத்திற்குமுள்ள தகவு, அந்த வில்லையின் 'பெருக்கத் திறமை' (magnifying power) எனப்படும். படத்திற் கண்டபடி ஸநி என்ற வில்லை யின் பெருக்கத் திறமை $= \frac{\text{தப}}{\text{ஸத}} \Big/ \frac{\text{மரீ}}{\text{ஸம}} = \frac{\text{ஸம}}{\text{ஸத}} = \frac{v}{u}$ ஆகும். (இதிலே வில்லை கண்ணிற்கு மிகநெருங்கி இருப்பதாகக் கொள்ளப்பட்டது). v என்பது அணிமை எல்லையின் தூரமாகும். இதை D என்று குறிப்பிடு வோம். இப்போது

$$-\frac{1}{f} = \frac{1}{D} - \frac{1}{u}$$ அல்லது

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{D} + \frac{1}{f}$$

அல்லது $u = \frac{fD}{D+f}$ ஆகும்.

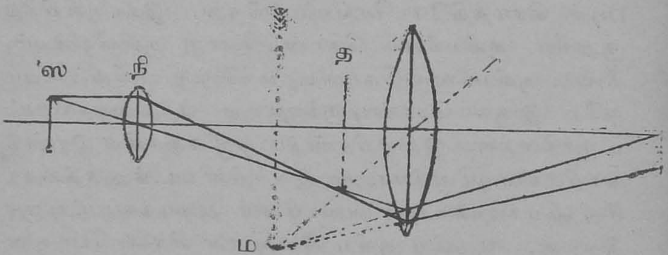
$$\text{எனவே பெருக்கத் திறமை } \frac{v}{u} = \frac{D}{u} = \frac{D + f}{f}.$$

ஒரு குவிவில்லையின் பெருக்கத் திறமையைப் பரிசோதனையால் அளவிட :—குறுகிய குவிய நீளம் (சுமார் 5 செ. மீ.) கொண்டதொரு குவிவில்லையை அதன் இருசு படுக்கைவாக்கிலே நிற்கும்படி ஏற்றிவைக்கவும். ஒரே வகையான இரண்டு அளவிகளைச் செங்குத்தாக இரண்டு தாங்குகால்களில் ஏற்றிவைக்கவும். ஒன்றை வில்லைக்குப்பின் அணிமை எல்லையின் தூரத்திலே வில்லையின் இருசை யொட்டியும் அதற்கு ஒரு புறம் சற்று விலகியும் இருக்கும்படி நிறுத்தவும். இப்போது ஒரு கண்ணினலே வில்லையின் வழியாக அருகிலிருக்கும் அளவியின் பொய்ப்படிவத்தைப் பார்த்துக்கொண்டே மற்றொரு கண்ணினலே நேரே தூரத்திலுள்ள அளவியைப் பார்க்கவும். தூரத்திலிருக்கும் இந்த அளவியும் அருகிலிருக்கும் அளவியின் பொய்ப்படிவமும் தம்முள் புடைபெயர்ச்சியில்லாமல் ஒன்றியிருக்கும்படி, அருகிலிருக்கும் அளவியை முன்னும் பின்னும் நகர்த்திச் சரிப்படுத்தவும். இப்போது இந்த இரண்டும் அணிமை எல்லையிலே நிற்கின்றன. படிவத்தின் பிரிவுகள் பெரிதாகவும் அளவியின் பிரிவுகள் சிறியதாகவும் தோன்றும். பெரிய பிரிவுகளிலே ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணுள்ளவற்றை எடுத்துக்கொண்டு, அவற்றிலுள்ளே சிறிய பிரிவுகள் எத்தனை அடங்குகின்றன என்று பார்த்துக் குறித்துக்கொள்ளவும். இது சிறிது பழகினல் எளிதிலே செய்யக்கூடும். உதாரணமாகப் படிவத்திலுள்ள m பிரிவுகளுக்குள் அளவியிலுள்ள n பிரிவுகள் அடங்கி இருப்பதாகக்கொள்வோம். இக்குவிவில்லையின் $\frac{n}{m}$ பெருக்கத் திறமை ஆகும். பரிசோதனையால் கண்ட இந்த முடிவை

பெருக்கத் திறமை $= \frac{D + f}{f}$ என்னும் வாய்பாட்டிலே அளவுகளை ஈடிட்டுக் கணக்கீடு செய்து சரிபார்க்கலாம்.

சூக்ஷம அணுதரிசனி (Compound microscope):- சாமானிய குவிவில்லையை ஒரு பெருக்க வில்லையாக உபயோகிப்பதில் சில குறைபாடுகள் உண்டு. பெருக்கம் அதிகமாவதற்காக வில்லையின் குவிய நீளத்தைக் குறைத்தால், பொருளை வில்லைக்கும் கண்ணுக்கும் இடையே மிக அருகிலே வைக்கவேண்டியிருக்கிறது. மற்றும் இத்தகைய வில்லைகளைத் திருத்தமாகத் தேய்த்தெடுப்பதும் கடினம். ஆகையால் பெருக்கம் அதிகமாக வேண்டியபொழுது சூக்ஷம அணுதரிசனி என்னும் கருவி கையாளப்படுகிறது இதிலே பெருக்கம் இரண்டு படிக் கிரமத்திலே செய்யப்படுகிறது. இக்கருவியிலே குறுகிய குவியநீளம் கொண்டதொரு குவிவில்லையும், நீண்ட குவியநீளம் கொண்ட மற்றொரு குவிவில்லையும் ஒரே இருசு கொண்டிருக்குமாறு ஏற்றிவைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவையிரண்டும் ஒரு சுரையின் இரண்டு வாயில்களையும் மூடுமாறும், இவற்றினிடைத் தூரத்தைச் சிறிது மாற்றக்கூடிய வகையிலும் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. குறுகிய குவிய நீளமுள்ள வில்லை, பொருளை நோக்குமாறு வைக்கப்படும். இந்த வில்லைக்கு பொருள் பகுதி (Object glass) என்று பெயர். பொருள் இதன் குவிய நீளத்திற்குச் சற்று வெளியே விலகியிருக்கும். எனவே இதன் விரிந்த உண்மைப் படிவமொன்று சுரையினுள் தோன்றும். இப்படிவம் நீண்ட குவியநீளமுடைய வில்லையின் குவியத்தினுள்ளே விழும். இதன் நிமிர்ந்த, விரிந்த, பொய்ப்படிவமொன்று இந்த வில்லையினுள்ளே நோக்குபவருக்குப் புலப்படும். இப்பொய்ப் படிவம் காண்போனது அணிமை எல்லையிலே விழுமாறு

இந்த வில்லையை முன்னும் பின்னும் தள்ளிச் சரிப்படுத்த வேண்டும். இந்த இரண்டாவது வில்லை 'காட்சிப் பகுதி' (eye-piece) எனப்படும். இதன் வழியே நோக்குவோர் பொருளின் தலைகீழான விரிந்த பொய்ப் படிவமொன்றைத் தெளிவாகப் பார்க்கலாம். (படம் 313) இல் இக்கருவியிலேயுள்ள வில்லைகளின் அமைப்பும் அதில் ஒளிக்கிரணங்கள் செல்லும் வழியும் தெளிவாகக் காட்டப்பட்டுள்ளன. ஸ என்பது பொருள். நி என்பது பொருள் பகுதி, த என்பது பொருள் பகுதியால் ஏற்பட்ட படிவம். ம என்னும் காட்சிப் பகுதியினாலேற்பட்ட த-வின் விரிந்த பொய்ப்படிவம். சாமானிய அணுதரிசனியிலே பெருக்கத் திறமை கண்டது போலவே இந்த அணுதரிசனியிலும் பெருக்கத் திறமையைக் காணலாம்.

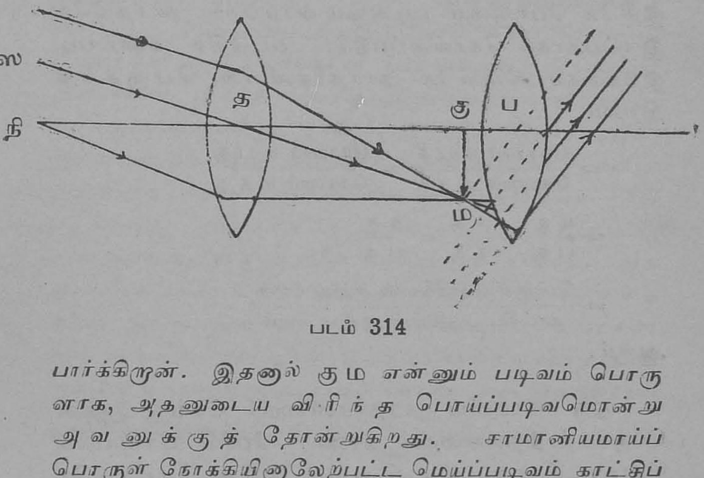


படம் 313

வானவியல் தூரதரிசனி (Astronomical Telescope):—தூரத்திலுள்ள பொருள்களைத் தெளிவாகப் பார்ப்பதற்கு தூரதரிசனி என்னும் கருவி பயன்படுகிறது. தூரதரிசனியின் இன்றியமையாத பகுதிகள் வருமாறு.

(1) நீண்ட குவிய நீளமுடைய குவிவில்லையாகிய பொருள் பகுதி,

(2) குறுகிய குவியநீளமுள்ள குவிவில்லையாகிய காட்சிப் பகுதி. நீண்ட குவிய நீளமுடைய பொருள் பகுதி தொலைவிலுள்ளதொரு பொருளின் சுருங்கிய தலைகீழான மெய்ப்படிவத்தை உண்டாக்குகிறது. இப் படிவம் குறுகிய குவியநீளங்கொண்ட காட்சிப் பகுதி யின் குவியத்திலே விழுவதால், அதன் வழியாகப் பார்க்கு மொருவனுக்கு இப்படிவத்தின் விரிந்த ஓர் பொய்ப்படி வம் நிமிர்ந்து தோன்றுகிறது. (படம் 314) இலே தொலை விலுள்ளதொரு பொருளினின்று இணையாக வரும் கிர ணங்கள் பொருள்பகுதி த-வின் குவியத்தின்மீது வந்து கூடுகின்றன. இவ்வாறு விழும் தலைகீழான மெய்ப்படி வத்தைக் காண்பவன் காட்சிப் பகுதியின் வழியாகப்



படம் 314

பார்க்கிறான். இதனால் கும என்னும் படிவம் பொரு ளாக, அதனுடைய விரிந்த பொய்ப்படிவமொன்று அவனுக்குத் தோன்றுகிறது. சாமானியமாய்ப் பொருள் நோக்கியினாலேற்பட்ட மெய்ப்படிவம் காட்சிப் பகுதியின் குவியதளத்திலே விழுமாறு அமைக்கப்படும். இதனால் முடிவிலே கிடைக்கும் பொய்ப்படிவம் வரம் பற்ற தூரத்திலே இருப்பதாகத் தோன்றும். முதற் படிவத்தைக் காட்சிப் பகுதியின் குவியத்தினுள்ளே

விழச்செய்து அதனால் முடிவிலே கிடைக்கும் படிவம் நெருங்கி வருமாறும் செய்யலாம்.

காட்சிக் கருவிகளின் பெருக்கத் திறமை என்பது பொதுவாக நாம் முன்னே கூறியபடி காண்போனது கண்ணிலே படிவம் எதிர்கொள்ளும் கோணத்திற்கும், பொருள் எதிர்கொள்ளும் கோணத்திற்குமுள்ள தகவு ஆகும். பொருளின் நிலையையும் படிவத்தின் நிலையையும் எடுத்துக் கூறினால்தான் இந்த வரைவிலக்கணம் முற்றுப்பெறும். அணுதரிசனிகளிலே நாம் பொருளும் படிவமும் ஒருவனது கண்ணின் அணிமை எல்லையிலே நிற்பதாகக் கொண்டோம். வானவியல் தூரதரிசனியிலே அத்தகைய நிபந்தனையைக் கொள்ளமுடியாது. இதிலே பொருளும் படிவமும் வரம்பற்ற தூரத்திலே இருப்பதாகக் கொள்ளப்படும். படத்தில் கண்டபடி இத்தகைய நிலையிலே தூரதரிசனியின் பெருக்கத் திறமை

$$= \frac{\text{கோணம் ம ப நி}}{\text{கோணம் ஸ த நி}} = \frac{\text{கோணம் ம ப த}}{\text{கோணம் ம த த}}$$

$$= \frac{\text{ம த}}{\text{ப த}} \div \frac{\text{ம த}}{\text{த த}} = \frac{\text{த த}}{\text{ப த}}$$

$$= \frac{\text{பொருள் நோக்கியின் குவிய நீளம்}}{\text{காட்சிப் பகுதியின் குவிய நீளம்}}$$

ஆகும்.

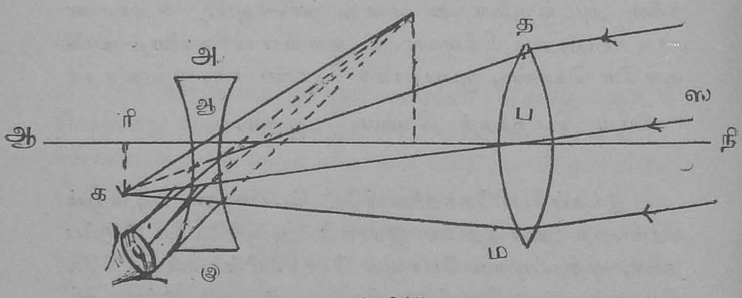
ஒரு சாமானிய தூரதரிசனியைச் செய்து அதன் பெருக்கத் திறமையைக் காண :—பெரிய பிரிவுகளைக் கொண்டதொரு அளவியைச் சிறிது தொலைவிலே பொருளாக நிற்குமாறு ஏற்றிவைக்கவும். நீண்ட குவிய நீளமுடையதொரு குவிவில்லையைப் பொருள் பகுதியாக அளவிக்கு எதிரே ஏற்றிவைக்கவும். இவ்வில்லையின் பின்புறத்திலே சிறிது தூரத்திலிருந்து பார்த்

தால் தூரத்திலுள்ள அளவியினது பிரிவுகளின் மெய்ப் படிவமொன்று தோன்றும். இப்படிவம் நிற்குமிடத்திலே ஒரு நீண்ட ஊசியை ஏற்றிவைத்து, அளவியிலுள்ளதொரு குறிப்பிட்ட பிரிவின் படிவத்திற்கும், இந்த ஊசிக்கும் இடையே புடைபெயர்ச்சி இல்லாதிருக்குமாறு செய்யவும். இந்த ஊசியின் பின்னே குறுகிய குவியநீளமுடைய வில்லையைக் காட்சிப் பகுதியாக வைத்து, அதன் வழியாக அளவியின் படிவத்தை நோக்கவும். முதற்படிவத்தின் விரிந்த பொய்ப்படிவமொன்று இதிலே தோன்றும். இந்தப் படிவம் தெளிவாகத் திரண்டு தெரியுமாறு காட்சிப் பகுதியின் நிலையைச் சரிப்படுத்தவும். இப்போது தூரதரிசனி யொன்று இயற்றியாய் விட்டது. இனி இத்தூரதரிசனியின் பெருக்கத் திறமையை அளவிடுவோம். காட்சிப்பகுதியினுள்ளே ஒரு கண்ணின் பார்வையைச் செலுத்தி அளவியின் விரிந்த பொய்ப்படிவத்தைப் பார்க்கவும். மற்றொரு கண்ணினாலே நேரே அளவியைப் பார்க்கவும். இவ்விரண்டும் புடைபெயர்ச்சியின்றி ஒன்றையொன்று அடுத்துத் தோன்றுமாறு காட்சிப் பகுதியைச் சரிப்படுத்தவும். படிவத்திலே தோன்றும் ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணுள்ள பிரிவுகளை எடுத்துக்கொண்டு, அதனுள்ளே நேரே தோன்றும் அளவியின் பிரிவுகள் எத்தனை அடங்குகின்றன என்று காணவும். உதாரணமாக m படிவப் பிரிவுகள் n அளவிப் பிரிவுகளைத் தமக்குள்ளே கொண்டிருப்பதாகக் கொண்டால், இத்தூரதரிசனியின் பெருக்கத் திறமை $\frac{n}{m}$ ஆகும்.

இந்தப் பரிசோதனையிலே பொருளும் படிவமும் வரம்பற்ற தூரத்திலே இராமல், அருகிலேயே இருப்பதால், முதற்படிவம் பொருள் நோக்கியின் குவியத்திலே விழாமல் சற்று வெளியே விழும். இதனால் இப்படிவம்

காட்சிப் பகுதியின் குவியத்தினுள்ளே நிற்கும். ஆகையால் இப்பரிசோதனையின்படி காணப்பட்ட பெருக்கத் திறமை, இவ்வில்லைகளின் குவிய நீளங்களின் தகவுக்குச் சரியாய் இராமல், சிறிதே வேறுபட்டிருக்கும். ஆனால் இவ்வேறுபாடு மிகக் குறைவாகவே இருக்குமாதலால் அதை நாம் பொருட்படுத்த வேண்டுவதில்லை.

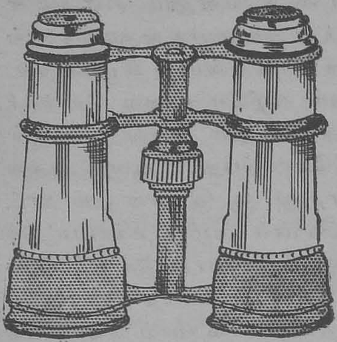
கலிலியோவின் தூரதரிசனி :—வானவியல் தூரதரிசனியில் தோன்றும் படிவங்களெல்லாம் தலைகீழாகவே இருக்கின்றன. வானவியலைப்பற்றிய வரையில் இதனால் யாதொரு இடைஞ்சலுமில்லை. ஆனால் இதைக் கொண்டு பூமியில் தூரத்திலுள்ள பொருள்களைப் பார்ப்பது சிறிது சிரமம். பொருள்களெல்லாம் தலைகீழாகத் தோன்றுவது சங்கடமாய் இருக்கும். கலிலியோவின் தூரதரிசனியிலே இத்தகைய சங்கடம் இல்லை. இதற்கும் வானவியல் தூரதரிசனிக்கும் உள்ள வேற்றுமை காட்சிப் பகுதியில் மட்டுமே இருக்கிறது. இதிலே குறுகிய குவிய நீளமுடைய குவிவில்லைக்குப் பதிலாக ஒரு குழிவில்லை வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதாவது குவியச் சந்திப்புக்கு ஒரே புறத்தில் முதலில் காட்சிப் பகுதியும், அதன் பிறகு பொருள் பகுதியுமாகப் (படம் 315) இல் கண்டபடி நிற்கின்றன.



படம் 315

நெடுந்தூரத்திலுள்ள ஸ நி என்னும் பொருளின் ஸ என்னும் புள்ளியிலிருந்து இணையாக வரும் கிரணங்கள் த ப ம என்ற பொருள் பகுதியின்மீது விழுகின்றன. அங்கிருந்து ஸ ப என்னும் வழியே க-வை நோக்கிச் செல்லுகின்றன. இந்த க என்னும் புள்ளி பொருள் பகுதியின் குவிய தளத்திலே நிற்பது. ஆனல் அவை க-வை அடையு முன்னரே, அ ஆ இ என்னும் காட்சிப் பகுதியாகிய குழிவில்லையால் வழி மறிக்கப்பட்டுக் கோட்டமடைகின்றன. ஆ ரி என்பது இக்குழிவில்லையின் குவியநீளமாகையால் கோட்டமடைந்த கிரணங்கள் ஆ க-வுக்கு இணையானதொரு கற்றையாய் வெளிப்படுகின்றன. எனவே, இதனுல் ஏற்படும் படிவம் வரம்பற்ற கந்தழியிலே நிற்கும். மற்றும் அது நிமிர்ந்திருக்கும். இதன் பெருக்கத் திறமையும் பொருள் பகுதி, காட்சிப் பகுதி ஆகிய இரண்டு வில்லைகளது குவிய நீளங்களின் தகவே ஆகும். இதிலே வில்லைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம் அவற்றினது குவிய நீளங்களின் வேற்றுமையேயாகும். ஆனல் வானவியல் தூரதரிசனியிலோ இதே தூரம் குவிய நீளங்களின் கூட்டுத் தொகையாகும். ஆகையால் ஒரே பெருக்கத்திறமையையும், சம அளவான குவிய நீளங்களையுடைய வில்லைகளையும் கொண்ட ஒரு வானவியல் தூரதரிசனியையும், ஒரு கலிலியோவின் தூரதரிசனியையும் எடுத்துக்கொண்டால் முன்னையது பின்னையதைவிட அதிக நீளமாய் இருக்கும்.

ஆபெராக் கண்ணுடி (opera glasses):—(படம் 316). இதிலே இரண்டு கலிலிய தூரதரிசனிகள் இருக்கின்றன. இவற்றின் இருசுகள் இணையாக இருக்கும். இவற்றின் இடையிலுள்ள ஒரு மரைத்தலையைப் பிடித்துத் திருகி இக்கருவியைக் குவியப்படுத்தலாம். இவ்வாறு திருகுவதனுல் பொருள் பகுதிக்கும் காட்சிப் பகுதிக்கும் இடையிலுள்ள தூரம் வேறுபடும்.



படம் 316

இரண்டு தூரதரிசனிகளிலும் இந்த வேறுபாடு ஒன்ருகவே இருக்கும். இதன் பெருக்கத் திறமை அதிகமாக இருக்கமுடியாது. பெருக்கம் அதிகமாக வேண்டுமானல் தூரதரிசனிகளின் நீளம் அதிகமாக வேண்டிவரும். நீளம் அதிகமானல் இதைக் கையாளுவது சிரமமாய்விடும்.

நிறமாலை மானி (Spectrometer) :—இது பெரும்பாலும் முப்பட்டையின் கோணத்தையும் அதன் நீசவிலக்கத்தையும் அளவிடுவதற்கும், ஒளிநிறமாலைகளை ஆராய்வதற்கும், ஒளியின் அலைநீளங்களை அளவிடுவதற்கும் பயன்படுவது. இதிலே ‘புகுவாய்’ (Collimator) எனப்படும் ஒரு பகுதியுண்டு. இதனுட்புகும் ஒளிக்கிரணங்களை இணைப்படுத்துவதே இதன் வேலை. இது இக்கருவியின் தாங்குகாலோடு கெட்டியாக அசையாமல் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். தூரதரிசனி எனப்படும் பகுதி, இக்கருவியின் மையத்திலுள்ள முப்பட்டைப் பீடத்தைச் சுற்றிச் சுழலும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கும். இவற்றினிடையே தாங்குகாலின் மேலே இணைக்கப்பட்டு நிற்பது முப்பட்டைப் பீடம். இவை ஒவ்வொன்றைப்பற்றியும் இனிச் சற்று விவரிப்போம்.

படம் 317

புகுவாய் :—இது சுமார் 8 அங்குலத்திற்கு மேற்பட்ட நீளமுடையதொரு பித்தளைக் குழாய். இதன் உள்வாயை ஒரு நிறப்பிறழ்ச்சியற்ற குவிவில்லை மூடிநிற்கும். வெளிவாயிலே செங்குத்தான நேரக வடிவம் கொண்டதொரு சந்து (Slit) இருக்கும். இச்சந்து, முன்னே கூறிய குழாயிலே பொருத்தப்படாமல் அதனுள் இறுக்கமாகச் செருகப்பட்டிருக்கும் மற்றொரு குழாயின் வாயிலே பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இந்த உள் குழாயை முன்னும் பின்னும் நகர்த்துவதற்குப் புகுவாயின் அடியில் ஒரு திருகு இணைக்கப்பட்டிருக்கும். முன்னே கூறிய சந்து இரண்டு கதுவாய்களுக்கு இடைப்பட்டதாகும். இவற்றின் ஓரங்கள் கூர்மையானவை. ஒரு கதுவாய் அசைய முடியாது. மற்றொன்று இயங்கக் கூடியது. ஒரு சிறிய திருகின் உதவியால் இச்சந்தினது அகலத்தை நாம் விரும்பியவாறு மாற்றிக்கொள்ளலாம்.

இந்தப் புகுவாயின் முன்னிலையிலே ஒளி ஊற்றுக்கண் வைக்கப்படும். பெரும்பாலும் உப்பினால் மஞ்சள் நிறமேற்றப்பட்ட ஜ்வாலையே ஊற்றுக் கண்ணாகக் கொள்ளப்படும். இதன் ஒளி சந்தின்மீது விழ, சந்து மற்றொரு கோடியிலுள்ள வில்லையின் குவியத்திலே நிற்கும்படி செய்யப்பட்டிருப்பதால், அதிலிருந்து வெளிப்படும் கிரணங்கள் வில்லையிலே கோட்டமடைந்த பின்னர், ஒரு இணைக்கற்றையாகச் செல்லும். இதை எவ்வாறு சரிப்படுத்துவதென்பதைப் பின்னர் கவனிப்போம்.

தூரதரிசனி :—இது ஒரு வானவியல் தூரதரிசனியேயாகும். இதன் உள்வாய் ஒரு பிறழ்ச்சியற்ற குவிவில்லையால் மூடப்பட்டிருக்கும். மற்றொரு முனையிலே காட்சிப் பகுதியைக் கொண்டிருக்குமொரு குழாய் இதனுள்ளே நுழைக்கப்பட்டிருக்கும். தூரதரிசனியினடியிலே இணைக்கப்பட்டிருக்குமொரு திருகினுதவி

யால், இதை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி தூரதரிசனியைக் குவியப்படுத்தலாம். இக்குழாயினுள்ளே காட்சிப் பகுதி வில்லையின் குவிய தளத்திலே ஒன்றையொன்று குறுக்கிட்டு நிற்கும் இரண்டு மெல்லிய குறுக்குக் கம்பிகள் (Cross wires) இருக்கின்றன. இவை சரியாகக் குவிய தளத்திலே நிற்கும்படி சரிப்படுத்துவதற்கு வேண்டிய சாதனமும் உண்டு. முன்னே கூறிய படி இத்தூரதரிசனி முப்பட்டைப் பீடத்தின் மையம் வழியாகச் செல்லும் செங்குத்தான இருசைச் சுற்றிச் சுழலக்கூடும்.

இத்தூரதரிசனியைத் தாங்கி நிற்கும் கையோடு முன்னே கூறிய இருசையே தனது இருசாகக்கொண்டு சுழலும் ஒரு வட்டமொன்றுண்டு. இதன் விளிம்புகள் பாகையிலே வகைப்பாடு செய்யப்பட்டிருக்கும். இவ்வகைப்பாட்டின் நுணுக்கம் அரைப்பாகையாகும். தூரதரிசனியை எந்த நிலையிலும் நிறுத்திப் பிடிப்பதற்கு ஒரு திருகுப் பிடிப்பு வைக்கப்பட்டிருக்கும். மேலும் 'பரிசத்திருகு' (tangent screw) என்னும் மற்றொரு திருகினுதவியால் தூரதரிசனியை மிக நுண்ணிய அளவிற்குத் திருப்பக்கூடும்.

முப்பட்டைப்பீடம்:— இது முப்பட்டையை வைப்பதற்காக ஏற்பட்டது. இதை மேலே தூக்கவும், கீழே தாழ்த்தவும், வேண்டிய இடத்திலே பிடித்துவைக்கவும் கூடும். மற்றும் இதை முன்னே கூறிய இருசைச் சுற்றித்திருப்பி வேண்டிய நிலையிலே பிடித்துவைக்கவும் கூடும். இதை நுணுக்கமாகச் சுழற்றுவதற்கு ஒரு பரிசத்திருகும் உண்டு. இரண்டு வெர்னியர்கள் ஒன்றுக்கொன்று 180° தூரத்திலே இப்பீடத்தோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும். வெர்னியிலே 29 அளவைப் பிரிவுகளை 30 வெர்னியர் பிரிவுகளாகப் பிரிக்கப்பட்

டிருக்கிறது. இதனல் வெர்னியரின் நுணுக்கம் ஒரு பாகையிலே அறுபதிலொருபங்கு அல்லது ஒரு கலை யாகும்.

நிறமாலை மானியைச் சரிப்படுத்தும் முறை:— முதலிலே புகுவாயும் தூரதரிசனியும் இணைக்கிரணங் களை ஏற்குமாறு செய்யவேண்டும். தூரதரிசனியைத் திருப்பி, அதன் வழியாக ஒரு வெள்ளைச்சுவர் போன்ற சீராய் வெளிச்சமிடப்பட்டதொரு பொருளைப் பார்க்க வும். காட்சிப் பகுதியை முன்னும் பின்னுமாக நகர்த்தி, குறுக்குக் கம்பிகள் திரண்டு தெளிவாகத் தெரியும்படி செய்யவும். இப்போது காட்சிப்பகுதி குறுக்குக் கம்பி களின் மீது குவியப்படுத்தப்பட்டிருக்கிறது. பிறகு தூரதரிசனியைத் தொலைவிலுள்ளதொரு பொருளின் மீது குவியப்படுத்தவும். இவ்வாறு குவியப்படுத்தும் போது தொலைவிலுள்ள பொருளின் படிவத்திற்கும் குறுக்குக் கம்பிகளின் படிவத்திற்கும் இடையே புடை பெயர்ச்சி யில்லாதிருக்கவேண்டும்.

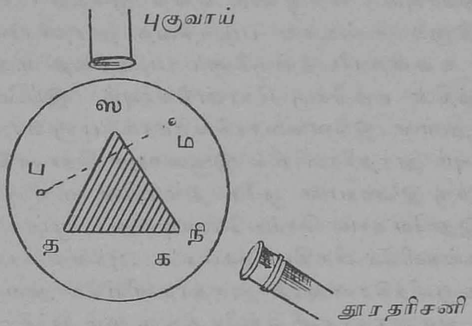
இப்போது ஒரு உவரச் சுடரைப் (Sodium flame) புகுவாயின் முன்னர் வைத்துத் தூரதரிசனியைத் திருப்பி அதன் இருசும், புகுவாயின் இருசும் ஒன்று படுமாறு செய்யவும். தூரதரிசனியின் வழியாகப் பார்க்கும்போது சந்து பிரகாசமாகத் தெரியவேண்டும். ஆனல் இது திரண்டு விளக்கமாகத் தெரியாது. இப் போது புகுவாயின் அடியிலிருக்கும் திருகைச் சுற்றி அதிலே சந்துக்கும் வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத் தைச் சரிப்படுத்தி, சந்தினது படிவம் திரண்டு விளக்க மாகத் தெரியும்படி செய்யவும். இது சரியாய் இருப் பதற்கு அடையாளம் சந்தினது படிவத்திற்கும் குறுக் குக் கம்பிகளின் படிவத்திற்குமிடையே புடைபெயர்ச்சி யில்லாதிருப்பதுதான். முன்பே தூரதரிசனி இணைக்

கிரணங்களை ஏற்கும்படி செய்யப்பட்டிருப்பதால் இப்போது புகுவாய், சந்தின் வழியாக இணையான கிரணங்களை வெளியிட்டுக்கொண்டிருக்கவேண்டும்.

முப்பட்டைப் பீடத்தைச் சரிப்படுத்துதல்:—இப்பீடத்தின் மீது வைக்கப்பட்ட முப்பட்டையின் முகங்கள் இக்கருவியின் மத்திய இருசுக்கு இணையாக இருக்க வேண்டும். இல்லாவிடில் புகுவாயில் நுழைந்து வந்த கிரணங்கள் முப்பட்டையின் முகத்திலே பிரதிபலித்த பின்னர், அல்லது கோட்டமடைந்த பின்னர், தூரதரிசனியினுள் அதன் இருசுக்கு இணையாக நுழையாது போய்விடும். இதனால் சந்தினது படிவம் தூரதரிசனியின் புலத்திலே தோன்றாது. இவ்வாறு இப்பீடத்தை மட்டப்படுத்துவதற்காகவே இதனடியில் சம முக்கோண வடிவிலே மூன்று சிறு திருகுகள் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மற்றும் இப்பீடத்தின்மீது பல இணைவரைகள் வரையப்பட்டிருக்கின்றன. இவை முன்னே கூறிய முக்கோணத்தின் ஒரு சிறைக்கு இணையாக விருக்கும்.

நிற்க, இப்பீடத்தை எளிதிலே மட்டப்படுத்த வேண்டுமானால் சாராய மட்டத்தைக் கையாளலாம். சாராய மட்டத்தையும் முன்னே கூறிய மூன்று திருகுகளினுதவியையும் கொண்டு இதை எளிதிலே செய்யலாம். ஆனால் இம்முறை திருத்தமானதல்ல. இக்கருவியின் புகுவாய், தூரதரிசனி ஆகியவற்றின் இருசுகள் சரியான படுக்கை மட்டத்திலே இருக்கும்போது மட்டுமே இது செல்லும். அவை படுக்கை மட்டத்திலே இராவிட்டால், பீடம் மட்டும் படுக்கை மட்டத்திலே வைக்கப்படுவதால், இதன் முகத்திலே புகுந்து வெளிப்படும் ஒளி, தூரதரிசனியினுள்ளே அதன் இருசுக்கு இணையாகச் செல்லாது.

சாராய மட்டத்தினுதவியில்லாமல் பீடத்தின் மட்டத்தைச் சரிப்படுத்தும் முறையொன்று உண்டு. அது வருமாறு :—(படம் 318). முப்பட்டையின் ஸ நி என்ற முகம் பீடத்தின் மீது வரையப்பட்டுள்ள இணைக்கோடுகளுக்குச் செங்குறுக்காக நிற்கும்படி வைத்து, இந்த



படம் 318

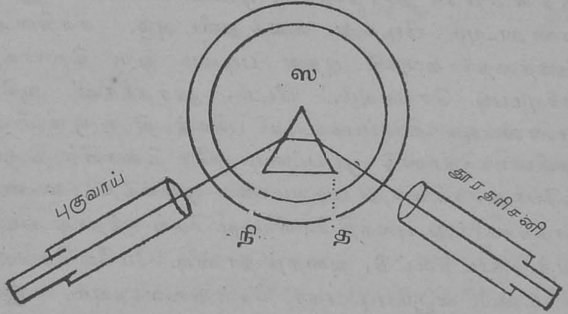
முகத்தைப் புகுவாய்க்கு எதிரே சிறிது திருப்பி வைக்கவும். புகுவாயின் முன்னே ஒரு உவரச்சுடரை ஏற்றி வைக்கவும். புகுவாயின் வழியாக ஒளி முப்பட்டையின் மீது விழும்போது அதன் ஒரு பகுதி பிரதிபலிக்கப்படும். தூரதரிசனியைச் சுற்றிக்கொணர்ந்து இவ்வாறு பிரதிபலித்துவரும் கிரணங்களை அதிலே ஏற்கவும். இவ்வாறு செய்யும்போது வேறு ஒளி குறுக்கிடாதிருக்கும்படியாக முப்பட்டை, பீடம், புகுவாய் தூரதரிசனிகளின் அடிப்பாகம் ஆகியவற்றை ஒரு கறுப்புத் துணியால் மூடிவிடுவது அவசியம். இப்போது சந்தினது படிவமொன்று தூரதரிசனியின் புலத்திலே தெரியும். சாமானியமாய் இது புலத்தின் நடுவிலே இராமல் மேலே அல்லது கீழே ஒதுங்கி யிருக்கும். இப்போது முப்பட்டைப் பீடத்திலே முன்னே கூறிய வரைகளின் தளமும், புகுவாயின் இருசையும் தூரதரிசனியின்

இருசையும் கொண்டுள்ள தளமும், வெவ்வேறு தளங்களில் இருக்கின்றன. இவற்றை ஒரே தளத்திற்குக் கொண்டுவரவேண்டும். இணைவரைகளி லொன்றினால் சேர்க்கப்பட்டுள்ள ப, ம என்னும் பீடத்திருகுகளை திருகிச் சரிப்படுத்திப் படிவத்தைப் புலத்தின் மத்திக்குக் கொண்டுவரவும். பிறகு ஸத என்ற முகத்தில் பிரதிபலனத்தினால் உண்டான படிவத்தை தூரதரிசனியில் கண்டு, க என்ற பீடத்திருகினால் படிவத்தை மறுபடியும் புலத்தின் மத்திக்கு கொண்டுவரவும். இப்போது பீடத்திலுள்ள இணைவரைகளெல்லாம் புகுவாயின் இருசையும் தூரதரிசனியின் இருசையும் கொண்டுள்ள தளத்திற்கு இணையான ஒரே தள்த்தின் மீதிருக்கின்றன. இதுவே நாம் செய்யவேண்டியது. முப்பட்டையின் முகங்களிலே பிரதிபலிக்கப்பட்ட அல்லது கோட்டமடைந்த ஒளிக்கிரணங்கள் தூரதரிசனியிலே நுழையும் போது, அத்தூரதரிசனி எங்கே நின்றாலும் இக்கிரணங்களால் ஏற்பட்ட படிவம் தூரதரிசனியின் மத்தியிலேயே விழும்.

இவையே ஒரு நிறமாலை மானியைக் கையாளுமுன் அதில் செய்யவேண்டிய சடங்குகளாகும்.

முப்பட்டையின் கோணத்தை அளவிட:—முப்பட்டையை அதன் பீடத்தின் மீது ஏற்றி வைத்து, அதன் கோட்டவிளிம்பு புகுவாயின் முனையை நோக்குமாறு பீடத்தைத் திருப்பி, அந்த நிலையிலேயே அதைப் பிடித்து வைக்கவும். சந்தினது அகலத்தைக் கூடியவரை குறைத்து, அது ஒரு மெல்லிய செங்குத்தான கீறல்போலத் தோன்றும்படி செய்யவும். இப்போது சந்திலிருந்து வெளிப்படும் கிரணங்கள் புகுவாயின் வழியே சென்று, முப்பட்டையின் இரு முகங்களிலேயும் பிரதிபலிக்கப்படும். தூரதரிசனியைச் சுற்றிக் கொணர்ந்து, ஸ நி என்ற முகத்திலே (படம் 318)

பிரதிபலித்த கிரணங்களை அதனுள்ளே ஏற்கவும். தூரதரிசனியைப் பிடித்து வைத்துப் பரிசத்திருகினுதவியால் அதை நுணுக்கமாக அசைத்து, சந்தினது படிவம் தூரதரிசனியின் புலத்திலுள்ள கம்பிகளிலே செங்குத்தான கம்பியோடு ஒன்றி நிற்கும்படி சரிப்படுத்தவும். இரண்டு வெர்னியர்களின் வாசகங்களையும் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். தூரதரிசனியின் பிடிப்பை விட்டு விட்டு அதை முப்பட்டையின் பீடத்தைச் சுற்றிக் கொணர்ந்து, ஸ த என்னும் முகத்திலே பிரதிபலித்து வந்த ஒளியை அதனுள்ளே ஏற்று, முன்போலவே சரிப்படுத்தி, மறுபடியும் வெர்னியர்களின் வாசகங்களைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். ஒவ்வொரு வெர்னியரிலும் ஏற்பட்ட வாசக வேற்றுமையை எடுத்து, அவற்றின் பொதுமை காணவும். இப்பொதுமை முப்பட்டைக் கோணத்தின் இருமடங்காகும்.



படம் 319

நீச விலக்கத்தைக் காண:—(படம் 319). முப்பட்டையைப் பீடத்தின் மீதேற்றி வைத்து, புகுவாயின் வழியாக வரும் ஒளி, இதனுடைய ஒரு முகத்திலே பட்டு உட்புகுந்து மற்றொரு முகத்தின் வழியாக வெளியேறும்படி பீடத்தைத் திருப்பிவைக்கவும். இரண்டாவது

முகத்தைப் பார்த்துக்கொண்டே சிறிதுதூரம் இருபுற
மும் நகர்த்தால் ஒரு நிலையிலே அதில் ஒளி புலப்படும்.
கண்ணை அப்படியே வைத்துக்கொண்டு, தூரதரிசனி
யைச் சுற்றிக் கொணர்ந்து, அதன் வழியாகப் பார்த்தால்
அதன் புலத்திலே சந்தினது படிவமொன்று புலப்படும்.
இதைப் பார்த்துக்கொண்டே முப்பட்டைப் பீடத்தை
ஒரு புறமாகத் திருப்பவும். இவ்வாறு திருப்பும்போது
நாம் காணும் படிவம் முப்பட்டையின் ஸ என்னும்
விளிம்பை நோக்கி நகரவேண்டும். அவ்வாறு நகராமல்
அது முப்பட்டையின் நி த என்னும் அடியை நோக்கி
நகர்ந்தால், முப்பட்டைப் பீடத்தை எதிர்ப்புறமாகத்
திருப்பவும். படிவம் நகர்ந்து செல்லும்போது அத
னோடு தூரதரிசனியையும் திருப்பி நகர்த்திச் செல்ல
வும். ஒரு எல்லைக்கப்புறம் இப்படிவம் ஸ-வை நோக்கி
நகருவதைவிட்டு நின்று நி த-வை நோக்கித் திரும்பும்.
இந்த நிலையிலே தூரதரிசனி, முப்பட்டைப்பீடம் ஆகிய
இரண்டையும் பிடித்து வைத்துவிடவும். சந்தினது
அகலத்தைச் சுருக்கி அதன் படிவம் ஒரு கீறலாகத்
தெரியும்படி செய்யவும். பீடம், தூரதரிசனி ஆகிய
இரண்டையும் திருப்பக்கூடிய பரிசத் திருகுகளின்
உதவியைக்கொண்டு முப்பட்டை ஒரே திசையில் திரும்
பும்போது, சந்தினது படிவமாகிய ஒளிக்கீறல் ஸ-வை
நோக்கி நகர்ந்து, புலத்திலே நிற்கும் செங்குத்தான கம்பி
யைத் தொட்டுவிட்டு, அதைத் தாண்டி மேலே செல்லா
மல் மீண்டு வரும்படியாகச் செய்துவைக்கவும். இப்
போது முப்பட்டை தனது நீச விலக்க நிலையிலே நிற்கி
றது. இந்த நிலையிலே இரண்டு வெர்னியர்களின் வாச
கங்களையும் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். புகுவாயின்
இருசுக்கும் தூரதரிசனியின் இருசுக்கும் இடையே இப்
போதுள்ள குறுங்கோணமே நீச விலக்கமாகும். தூர
தரிசனியினது இருசின் நிலையைக் குறித்தாய்விட்டது.

புகுவாயினது இருசின் நிலையைக் காணுவதற்காக, முப்பட்டையை நீக்கிவிட்டுத் தூரதரிசனியைத் திருப்பி, அது புகுவாயோடு ஒரே கோட்டில் நிற்கும்படி வைத்து அதன் புலத்திலே விழும் ஒளிக்கிறலைப் பார்க்கவும். இக்கிறல் அப்புலத்தேயுள்ள செங்குத்தான கம்பியோடு ஒன்றி நிற்கும்படி சரிப்படுத்தி வைத்து, மறுபடியும் வெர்னியர் வாசகங்களைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இதுவே புகுவாயினது இருசின் நிலையாகும். இரண்டு வெர்னியர்கள் வாசக வேற்றுமைகளையும் எடுத்து அவற்றின் பொதுமை காணவும். இப்பொதுமையே முப்பட்டையின் நீச விலக்கமாகும். முப்பட்டையின் கோணம் A என்றும், அதன் நீச விலக்கம் D என்றும் கொண்டால், முப்பட்டை செய்யப்பட்டுள்ள பொருளின் கோட்டப் பான்மை

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A + D}{2}\right)}{\sin \frac{A}{2}}$$ ஆகுமென்று முன்பே கண்டோம்.

ஒரு திரவத்தின் கோட்டப்பான்மையைக் காண வேண்டுமானால், இணையான முகங்கள் கொண்ட கண்ணாடிச் சுவர்களாலான ஒரு சிறிய முப்பட்டைத் தொட்டியிலே அத்திரவத்தை நிரப்பி, முன்போலவே அதன் கோட்டக் கோணத்தையும் நீச விலக்கத்தையும் கண்டு, அத்திரவத்தின் கோட்டப்பான்மையைக் கணக்கிடலாம்.

உதாரணம்: 1. ஒரு முப்பட்டையின் கோணம் 60°. உவர ஒளிக்கு இதிலேற்படும் நீச விலக்கம் 30°. இம் முப்பட்டையின் கோட்டப்பான்மையைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை: செப். 1927)

இதற்குரிய வாய்பாடு வருமாறு :

$$\text{கோட்டப்பான்மை } \mu = \frac{\text{Sin } \frac{A+D}{2}}{\text{Sin } \frac{A}{2}}$$

இதிலே A என்பது முப்பட்டையின் கோணம்.

D என்பது நீச விலக்கம்.

கணக்கின்படி $A = 60°$; $D = 30°$.

எனவே, கோட்டப்பான்மை

$$\mu = \frac{\text{Sin } \frac{60+30}{2}}{\text{Sin } \frac{60}{2}} = \frac{\text{Sin } 45°}{\text{Sin } 30°}$$

$$= \frac{\cdot 7071}{\cdot 5} = 1{\cdot}41$$

முப்பட்டையின் கோட்டப்பான்மை = 1·41.

உதாரணம் 2. நிறமாலை மானியைக்கொண்டு செய்ததொரு சோதனையிலே முப்பட்டையின் கோணம் 59° 20′. முப்பட்டை இல்லாதபோது தூரதரிசனியின் வாசகம் 168° 18′. நீசவிலக்க நிலையிலே அதன் வாசகம் 216° 36′. முப்பட்டையின் கோட்டப்பான்மையைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை : டிச. 1921)

நீசவிலக்கம் = 216° 36′ − 168° 18′ = 48° 18′

கோட்டப்பான்மைக்குரிய வாய்பாடு,

$$\mu = \frac{\text{Sin } \frac{A+D}{2}}{\text{Sin } \frac{A}{2}}$$

இந்தப் பரிசோதனையிலே $A = 59° \ 20'$

$D = 48° \ 18'$

ஆகையால் முப்பட்டையின் கோட்டப்பான்மை

$$\mu = \frac{\text{Sin } \frac{59^\circ\ 20' + 48^\circ\ 18'}{2}}{\text{Sin } \frac{59^\circ 20'}{2}}$$

$$= \frac{\text{Sin } 53^\circ 49'}{\text{Sin } 29^\circ 40'} = \frac{\cdot 8070}{\cdot 4955} = 1\cdot 629.$$

முப்பட்டையின் கோட்டப்பான்மை = 1·629.

உதாரணம் 3. ஒரு மனிதன் 3 மீட்டர் தூரத்திற்குட்பட்ட பொருள்களைத் தெளிவாகப்பார்க்கமுடியாது. 25 செ. மீ. தூரத்திலுள்ளதொரு புஸ்தகத்தை அவன் வாசிக்கவேண்டுமானல் அவன் எத்தகைய கண்ணாடி வில்லைகளை அணிந்துகொள்ளவேண்டும்.

25 செ. மீ. தூரத்திலுள்ள பொருளின் படிவம் 3 மீட்டர் தூரத்தில் தெரிந்தால் அவன் அதைத் தெளிவாகப் பார்க்கமுடியும். இதற்கு அவன் குவி வில்லைகளை அணிந்துகொள்ளவேண்டும்.

வில்லையின் வாய்பாடு $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{300} - \frac{1}{25} = -\frac{11}{300}$$

அல்லது $f = -27\cdot 27$ செ. மீ.

எனவே அவன் 27·27 செ. மீ. குவிய நீளம் கொண்ட குவி வில்லைகளை அணிந்துகொள்ளவேண்டும்.

உதாரணம் 4. ஒருவன் 8 அங். தூரத்திலேயுள்ள பொருள்களைத் தெளிவாகப் பார்க்கக்கூடும். 15 அங். தூரத்தில் பிடிக்கப்பட்டதொரு புஸ்தகத்தை அவன் வாசிக்கவேண்டுமானல் அவன் அணியவேண்டிய மூக்குக்கண்ணாடி வில்லைகளின் குவிய நீளம் யாதாக இருக்கவேண்டும் ?

15 அங். தூரத்திலுள்ள பொருளின் படிவம் 8 அங். தூரத்திற்கு வந்தால் அவன் அதைத் தெளிவாகப் பார்க்கக்கூடும். இதற்குக் குழி வில்லைகளைக் கையாள வேண்டும்.

வில்லையின் வாய்பாடு $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$.

அதாவது $\frac{1}{8} - \frac{1}{15} = \frac{1}{f}$

அல்லது $f = \frac{120}{7} = 17{\cdot}14$ அங்.

எனவே அவன் 17·14 அங். குவிய நீளமுள்ள குழி வில்லைகளைக் கொண்ட மூக்குக்கண்ணாடிகளை அணிய வேண்டும்.

வினாக்கள்

1. சாமானியமாய் கண்ணுக்கு ஏற்படும் ஊனங்கள் யாவை? அவை எவ்வாறு உண்டாகின்றன?

இவ்வூனங்களைத் தக்க மூக்குக்கண்ணாடிகளைக் கொண்டு சரிப்படுத்திக்கொள்ளலாமென்பதை படம் வரைந்து விளக்குக.

(அண்ணாமலை : 1932)

2. கண்ணிலேற்படும் சில முக்கியமான ஊனங்களை விவரித்துக் கூறி அவற்றை எவ்வாறு திருத்தலாமென்று கூறுக.

தூரப் பார்வைகொண்ட ஒருவன் அவனுக்கு 48 செ. மீட்டருக்கு அப்பாலுள்ள பொருள்களை மட்டுமே பார்க்கக்கூடும். 20 செ. மீ. தூரத்திலுள்ள பொருள்களைத் தெளிவாகப் பார்க்கவேண்டுமானால் அவன் எத்தகைய வில்லையை உபயோகிக்கவேண்டும்.

(ஆக்ஸ் : 1935)

3. வெள்ளெழுத்து வந்த ஒருவர் 20 அங்குலங்களுக்குட்பட்ட பொருள்களைத் தெளிவாகப் பார்க்கமுடியாது. 10 அங். தூரத்திலே பிடிக்கப்பட்டதொரு புஸ்தகத்தை அவர் வாசிக்கவேண்டுமானால் அவர் எத்தகைய கண்ணாடி வில்லைகளை அணிந்துகொள்ள வேண்டும்?

4. ஒரு அறுகாலின் அமைப்பை விவரித்துக் கூறி அதைக்கொண்டு தொலைவிலுள்ள இரண்டு பொருள்கள் ஒருவன் கண்ணிலே எதிர்கொள்ளும் கோணத்தை எவ்வாறு அளக்கலாகும் என்று விளக்குக.

(டெல்லி : 1933)

5. கீழ்க்கண்டவற்றுள் ஏதேனுமொரு கருவியின் பகுதிகளையும் தத்துவத்தையும் முற்றும் விளக்குக.

(a) கலிலியோவின் தூரதரிசனி

(b) வீச்சுவிளக்கு

(c) சூக்ஷ்ம அணுதரிசனி

(காசி : 1933)

6. முறையே 1 செ. மீட்டரும் 3 செ. மீட்டரும் குவிய நீளங்களாகக் கொண்ட இரண்டு குவி வில்லைகள் கிடைக்கின்றன. இவற்றைக்கொண்டு எவ்வாறு ஒரு சூக்ஷ்ம அணுதரிசனி அமைக்கலாமென்று எடுத்துக் கூறுக.

இக்கருவியால் பார்க்கப்படுமொரு பொருளினின்று இதன் வழியாகக் காண்போன் கண்ணிலே படுமொரு ஒளிக்கற்றையைக் குறித்துக் காட்டுக.

(சென்னை : செப். 1923)

7. ஒரு சாமானிய அணுதரிசனியின் செயல் முறைப்படம் வரைந்து நன்றாக விளக்கி அதன் பெருக்குத் திறமைக்கு ஒரு வாய்பாட்டை வடித்தெடுக்கவும்.

ஒரு சூக்ஷ்ம-அணுதரிசனியின் செயல்முறையைப் படம் வரைந்து விளக்குக.

(அண்ணாமலை : 1932)

8. வானவியல் தூரதரிசனியின் விளக்கமான படமொன்றை வரைந்து, நெடுந்தூரத்திலுள்ளதொரு பொருளினின்று இக்கருவியின் வழியாக வந்து காண்போனின் கண்ணிலே படும் ஒளிக்கதிர்களின் வழியைக் குறித்துக் காட்டவும்.

ஒரு தூரதரிசனியின் பெருக்கத் திறமையைப் பரிசோதனையினால் எவ்வாறு காணலாம்?

(சென்னை : மார்ச்சு, 1923)

9. ஒரு தூரதரிசனியிலே 2 செ. மீ. குவிய நீளம் கொண்டதொரு வில்லையும், 20 செ. மீ. குவிய நீளம் கொண்டதொரு வில்லையும் இருக்கின்றன. நெடுந் தொலைவிலுள்ளதொரு பொருளினின்று வரும் கதிர்கள் இதனுள்ளே எவ்வாறு படிவம் தோற்றுவிக்கின்றன வென்பதைப் படம் வரைந்து விளக்குக. இத்தூரதரிசனியின் நீளமும், பெருக்கத் திறமையும் எவ்வளவாகும் என்பதையும் கணக்கிடுக.

(காசி : 1930)

10. ஒரு கண்ணாடி முப்பட்டையின் கோட்டப் பான்மையைக் காணுவதற்காக ஒரு நிறமாலை மானியைக் கையாளவேண்டியிருக்கிறது.

வாசகம் காணவேண்டிய இக்கருவியின் பலவேறு பகுதிகளின் நிலைகளைப் படம் வரைந்து காட்டுக.

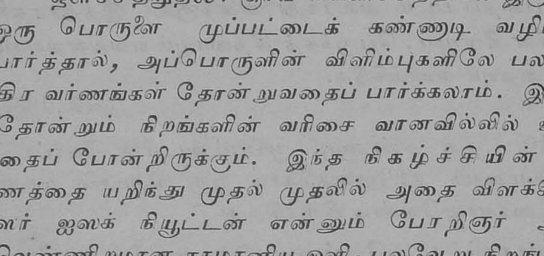
இப்பரிசோதனையிலே கையாளவேண்டிய வாய்பாட்டினை வடித்தெடுக்கவும்.

(சென்னை : மார்ச்சு, 1922)

அத்தியாயம் 7

ஒளிச்சிதறுதல் நிறமாலையளவியல்
(Dispersion and Spectroscopy)

ஒளிச்சிதறுதல்:—சூரிய வெளிச்சத்திலே இருக்கும் ஒரு பொருளை முப்பட்டைக் கண்ணாடி வழியாகப் பார்த்தால், அப்பொருளின் விளிம்புகளிலே பல சித்திர வர்ணங்கள் தோன்றுவதைப் பார்க்கலாம். இதிலே தோன்றும் நிறங்களின் வரிசை வானவில்லில் உள்ளதைப் போன்றிருக்கும். இந்த நிகழ்ச்சியின் காரணத்தை யறிந்து முதல் முதலில் அதை விளக்கியவர் ஸர் ஐஸக் நியூட்டன் என்னும் பேரறிஞர் ஆவர். வெண்ணிறமான சாமானிய ஒளி, பலவேறு நிறங்களைக் கொண்ட ஒளிகளின் சேர்க்கை என்று அவர் காட்டினார். ஒரு இருண்ட அறையினுள்ளே ஒரு சிறு துவாரம் வழியாகச் சூரியனது ஒளியைப் புகச்செய்து, அந்த



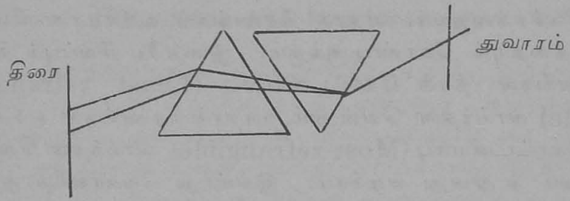
படம் 320

ஒளிக்கற்றையின் வழியிலே ஒரு முப்பட்டையை வைக்கவும். இதன் பின்னால் வெண்ணிறமான திரையை வைக்கவும். இப்போது திரையின்மீது பலவேறு நிறங்களைக் கொண்டதொரு நீண்ட நிறமாலை தோன்றும். (படம் 320). இம்மாலையின் ஒரு முனை செந்நிறமும் மற்றொரு முனை ஊதா நிறமும் கொண்டிருப்பதைப் பார்க்கலாம்.

இவற்றினிடையே தோன்றும் பலவேறு நிறங்களை முறையே ஆரஞ்சு, மஞ்சள், பச்சை, நீலம், அவுரி என்று பிரிக்கலாம். சிவப்புக் கிரணங்கள் நீசமான விலக்கத்தையும், ஊதாக் கிரணங்கள் உச்சமான விலக்கத்தையும் கொண்டிருக்கும். இதையே சிவப்புக் கிரணங்கள் நீசக் கோட்டவியல்பு (Least refrangible) வாய்ந்தன வென்றும், ஊதாக் கிரணங்கள் உச்சக் கோட்டவியல்பு (Most refrangible) வாய்ந்தன வென்றும் கூறுவது வழக்கம். இவ்வாறு வெண்ணிற ஒளி பல நிற ஒளிகளாகப் பிரிவதை ஒளிச்சிதறுதல் என்றும், அந்நிறமாலையைத் தொடர் நிறமாலை (Continuous Spectrum) என்றும் வழங்கப்படும். இவ்வாறு வெண்ணிற ஒளியே பன்னிற ஒளிகளாகப் பிரிகிறது என்றும், முப்பட்டை இவ்வாறு ஒளியைப் பிரிப்பதுமட்டுமே செய்கிறது என்பதையும் தெளியக் காட்டும் முறை வருமாறு :

ஒன்றுக்கொன்று எவ்வகையிலும் ஒத்துள்ள இரண்டு கண்ணாடி முப்பட்டைகளை எடுத்துக்கொள்ளவும். இருட்டறையில் ஒரு சிறு துவாரத்தின் வழியாக வரும் சூரியனது ஒளிக்கற்றையின் வழியிலே ஒரு முப்பட்டையை வைத்து, அதனால் ஏற்படும் நிறமாலையை ஒரு வெள்ளைத் திரையின்மீது ஏற்கவும். இப்போது மற்றொரு முப்பட்டையைக் கொண்டுவந்து, முதல் முப்பட்டைக்குப் பின்னே, அதன் கோட்ட விளிம்பு முதல் முப்பட்டையின் பீடத்தின் ஒரு முனையோடு (படம் 321)இல் கண்டபடி பொருந்தி நிற்கும்படி ஒட்டி வைக்கவும். இப்போது திரையின்மீது முன்பு தோன்றிய நிறமாலை மறைந்துவிட ஒரு வெண்ணிற ஒளிமாலை மட்டுமே தோன்றுவதைக் காணலாம். முதல் முப்பட்டையினாலேற்பட்ட ஒளிச்சிதறலை, இதற்கு மாறுபடத் திருப்பி வைக்கப்பட்ட இரண்டாவது முப்பட்டை முற்

றும் நிவர்த்தி செய்துவிட்டது. எனவே, அப்பன்னிற ஒளிகள் மறுபடியும் ஒன்றுகூடி வெண்ணிற ஒளியாய் விட்டன.

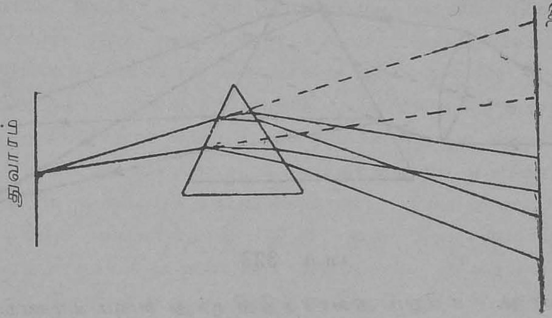


படம் 321

மற்றும் முதல் முப்பட்டையில் தோன்றிய பலவேறு நிறங்கொண்ட கிரணங்களில், ஏதேனுமொரு பகுதியின் வழியில் மட்டும் இரண்டாவது முப்பட்டையை வைத்தால், அதிலிருந்து அந்த ஒரு நிறம் மட்டுமே வெளிப்பட்டு வருவதைக் காணலாம். இவற்றிலிருந்து முப்பட்டை ஒளிக்கு நிறங்களை யூட்டவில்லை என்றும், அது ஒளிக் கலவையிலேயுள்ள பலவேறு நிறக்கதிர்களைத் தனித்தனியே பிரித்தல் மட்டுமே செய்தது என்றும் அறியலாகும்.

நியூட்டன் வர்ணத்தட்டு (Newton's Colour Disc):—இது வட்ட வடிவமானதோர் அட்டைத் தட்டாகும். இவ்வட்டம் ஏழு ஆரங்களினாலே ஏழு பகுதிகளாக வகுக்கப்பட்டிருக்கிறது. இப்பகுதிகள் முறையே நிறமாலையில் கண்டது போன்ற வர்ணங்கள் தீட்டப்பட்டிருக்கும். இத்தட்டு ஒரு படுக்கை இருசைச் சுற்றிச் சுழலும்படி ஏற்றப்பட்டிருக்கும். இத்தட்டை வேகமாகச் சுழற்றினால் இப்பல வேறு நிறங்கள் எல்லாம் கண்ணிலேயுள்ள அக்ஷிப்படலத்திலே ஒன்றின் மீதொன்று படிவதால், காட்சியின் நீடிப்பால் (Persistence of vision) அவை ஒன்றுகூடி வெண்ணிற உணர்ச்சியைத் தோற்றுவிக்கும்.

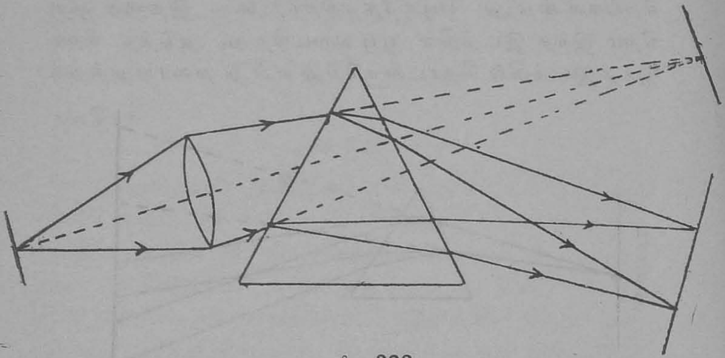
தூய நிறமாலையை உண்டாக்குதல் (Production of pure Spectrum) :—இதுவரை நாம் கண்ட நிற மாலைகள் தூய்மையானவையல்ல. அவற்றிலே வெவ் வேறு நிறங்கொண்ட கதிர்கள் வெவ்வேருகப் பிரிக்கப் படவில்லை. ஒவ்வொரு நிறமும் தன்னை அடுத்துள்ள நிறங்களின்மீது படிந்தே நிற்கிறது. இதனுல் ஒரு நிறம் இந்த இடத்தில் முடிவடைகிறது, அடுத்த நிறம் இந்த இடத்தில் தொடங்குகிறது என்று வரையறுத்துக்



படம் 322

கூற முடிவதில்லை. (படம் 322). இவ்வாறு இராமல் ஒவ்வொரு நிறங்கொண்ட கதிர்கள் ஒவ்வொரு இடத் திலே குவியும்படியாகச் செய்தால் நிறமாலை தூய்மைப் படும். ஒரு நீண்ட குவிய நீளம் கொண்டதொரு குவி வில்லையை முப்பட்டைக்கு முன்னே அல்லது பின்னே ஒளியின் வழியிலே குறுக்கிடச் செய்தால் ஒவ்வொரு நிறத்தொகுதியும் தனித்தனியே பிரிந்து தோன்றும். (படம் 323). இத்தொகுதிகள் ஒவ்வொன்றும் ஒளி நுழைந்து வரும் துவாரத்தின் வெவ்வேறு நிறங் கொண்ட படிவங்களாகும். மற்றும் இத்தொகுதிகளின் அகலம் துவாரத்தின் அகலத்திற்கு ஏற்றதாகையால் இத் தொகுதிகள் ஒன்றின்மீதொன்று படியாதிருக்கவேண்டு

மானுல் துவாரத்தினது அகலம்கூடியவரை குறைவாய் இருக்கவேண்டும். மற்றும் முப்பட்டை தனது நீச நிலையில் நின்ருலொழிய, அதிலிருந்து வெளிப்படும் கிரணங்கள் இணையாக இருக்கமுடியாது. இதனுல் அவற்றைக் குவிவில்லையினுல் திரளும்படி ஓரிடத்திலே குவிக்க



படம் 323

முடியாது. மற்றும் துவாரத்திலிருந்து வரும் கிரணங்கள் இணையாகவிருந்தால்தான் நல்ல தூய்மையான நிறமாலை கிடைக்கும். எனவே நல்லதொரு தூய நிறமாலையைப் பெறவேண்டுமானுல் பூர்த்தியாகவேண்டிய நிபந்தனைகள் வருமாறு:

(1) துவாரம் மிகக்குறுகிய அகலம் கொண்டதாயிருக்கவேண்டும்.

(2) முப்பட்டை நீசவிலக்க நிலையிலே நிற்கவேண்டும்.

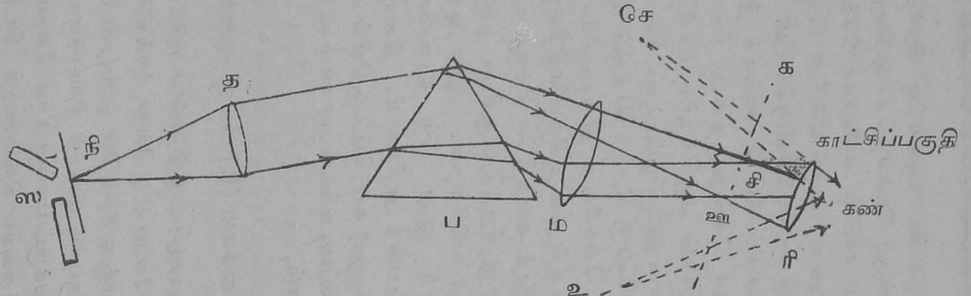
(3) வந்து மோதும் ஒளிக்கற்றை கூடியவரை இணையானதாக இருக்கவேண்டும்.

(4) ஒளியின் வழியிலே ஒரு நீண்ட குவிய நீளமுடைய குவிவில்லை குறுக்கிடவேண்டும்.

(படம் 324)ல் கண்ட அமைப்பு சிறந்தது. ஸ என்பது பிறைவிளக்குப் போன்றதொரு ஊற்றுக்கண். நி என்னும் குறுகிய சந்தின் வழியாகச் செல்லும் கிரணங்கள் த என்னும் குவிவில்லைமீது விழுகின்றன. சந்து குவிவில்லையின் குவியத்திலிருக்கிறது. எனவே, வில்லையிலிருந்து வெளிப்படும் கிரணங்கள் இணையானதொரு கற்றையாகச் சென்று, தனது நீச நிலையிலே (சாமானியமாய் மஞ்சள் பகுதிக்குரிய நீசநிலை) வைக்கப்பட்டுள்ள ப என்னும் முப்பட்டையில் மோதி வெளிப்படும். ஒவ்வொரு நிறக் கதிர்களும் வெவ்வேறு இணைக்கற்றையாய் வெவ்வேறு திசைகளிலே செல்லுகின்றன. இவை ம என்னும் குவிவில்லையிலே நுழைந்து இவ்வில்லையின் குவியத் தளத்திலே நிற்கும் க என்னும் திரைமீது ஒவ்வொரு நிறத்தொகுதியும் ஒவ்வோரிடத்திலே குவியப்படுத்தப்படுகின்றன. இந்த அமைப்பைச் சற்றே கவனித்தால் இது ஒரு நிறமாலைமானியை ஒத்திருக்கிறது என்பதை அறியலாம். திரையை நீக்கிவிட்டு ரீ என்னும் ஒரு காட்சிப் பகுதியின் மூலமாய்த் துவாரத்தின் மெய்ப்படிவங்கள் காணக்கூடுவதைப் படத்தில் பார்க்கலாம்.

நிறமாலை வகைகள் (Kinds of spectra)

தோடர் நிறமாலை :—இதிலுள்ள பல்வேறு நிறங்கள் படிப்படியாக வேறுபட்டு வேறு நிறங்களாகின்றன. உதாரணமாக ஆரஞ்சு நிறத்தின் ஒருபுறம் சிவப்பு நிறமாகவும், மற்றொருபுறம் மஞ்சள் நிறமாகவும் படிப்படியாக நமது கண்ணுக்குப் புலப்படாமல் வேறுபடுவதைப் பார்க்கலாம். இத்தகைய நிறமாலைகள் திடப்பொருள்களும் திரவப் பொருள்களும் தம்மிடமிருந்து வெளிப்படுத்தும் ஒளியில் மட்டுமே தோன்றுகின்றன. மற்றும் இத்தொடர் நிறமாலைகள் திடதிரவப் பொருள்கள்



படம் 324

உயர்ந்த சூட்டை அடையும்போது மட்டுமே வெளிப்படு கின்றன. ஒரு மின்சாரத்தழல் விளக்கிலிருந்து வெளிப் படும் ஒளியின் நிறமாலையை இதற்கு உதாரணமாகக் கொள்ளலாம்.

வரி நிறமாலை (Line Spectra) :—சில விசேஷ சந்தர்ப்பங்களிலே வாயுக்களும் ஆவிகளும் ஒளியை வெளியிடுமாறு செய்யலாம். இந்த ஒளியை ஒரு முப் பட்டையின் வழியாகச் செலுத்திப் பார்த்தால், தொடர்ந்ததொரு ஒளி நிறமாலைக்குப்பதிலாக, தொடர் பற்ற பலவேறு இணையான வரிகள் தென்படுகின்றன. இவற்றினிடையிலுள்ள இடமெல்லாம் இருண்டேயிருக் கும். இத்தகையதொரு நிறமாலை வரிநிறமாலை எனப் படும். ஒரு ஆவியை ஒளியைக் கக்குமாறு செய்வதற் குப்பலவேறு வழிகளுண்டு. உவரம், சாம்பரம் (potassium), ஆரகம் (strontium) போன்ற தாழ்ந்த உருகு நிலைகளையுடைய பதார்த்தங்களைப் புன்ஸன் விளக்கினது நிறமற்ற சுவாலையிலே வைக்க, அவை சூட்டினுல் உருகி ஆவியாகித் தத்தமக்குச் சிறப்பியல்பான ஒளிகளை வெளியிடுகின்றன. ஒரு செப்பு வளையத்தைக் கல்நார் (asbestos) அட்டையாலே போர்த்தி, அதைச் சாமா னிய உப்புக்கரை நீரிலே தோய்த்தெடுத்து, புன்ஸன் சுவாலையிலே வைத்தால், அந்த சுவாலை பொன் போன்ற மஞ்சள் நிறமான ஒளியை வெளியிடுவதைக் காணலாம். இதை யொரு நிறமாலைமானியால் பார்க்க, தூரதரிசனி யின் புலத்திலே ஒரே யொரு மஞ்சள் கோடு மட்டும் புலப்படும். சாம்பரம், கல்லியம் (Lithium) என்பவற் றின் உப்புகளைக்கொண்டு இதே பரிசோதனையைச் செய்தால், நிறமாலையின் பல்வேறிடங்களிலே பல நிறங் கள் கொண்ட கோடுகளைக் காணலாம். இரும்பு, செம்பு போன்ற பொருள்களின் வரிநிறமாலைகளைப் பெறவேண்டுமானுல், இவ்வுலோகத் துருவங்களைக்

கொண்ட பிறைவிளக்குகளை ஏற்றிவைத்து, அவற்றிலிருந்து வெளிப்படும் ஒளியை நிறமாலை மானியால் பரிசோதிக்கலாம். வாயுக்களின் நிறமாலைகளைப் பெற வேண்டுமானால் அவற்றை மிகக் குறைந்த இறுக்கத்திலே கெயஸ்லர் குழாய்களுக்குள் (Geislar tubes) புகச் செய்து அக்குழாயிற் பொருத்தப்பட்டுள்ள மின் துருவங்களை ஒரு ஊட்டச் சுருளின் (induction coil) துணைத் துருவங்களோடு இணைத்து, ஒரு மின்சாரப் பாய்ச்சலை இக்குழாயினுள்ளே உண்டாக்கவும். குழாயினுள் அடைபட்டிருக்கும் வாயு பிரகாசமடைந்து தனக்குச் சிறப்பியல்பான நிறமாலை கொண்ட ஒளியை வெளியிடும்.

தொடர்பற்ற நிறமாலை (Discontinuous Spectrum):—சாமானியமாய் ஒரு ஆவி தழலிடப்பட்ட போது தனக்குச் சிறப்பியல்பான ஒரு ஒளியை வெளியிடுகிறது. ஆனல் இதே நிலையில் தொடர் நிறமாலை கொண்டதொரு ஒளியை இந்த ஆவியினுள் செலுத்தி, வெளிவரும் ஒளியைப் பரிசோதித்தால், அது தன்னுள் புகுந்த ஒளியினின்று தான் வெளியிடக்கூடிய ஒளியின் பகுதியைமட்டும் உட்கொண்டு, மிகுந்த ஒளியைமட்டுமே வெளியிடுகிறது என்று தெரிந்துகொள்ளலாம். எஞ்சி வெளிவந்த ஒளியின து நிறமாலையிலே சில இருண்ட வரிகள் தென்படும். இவ்வரிகளெல்லாம் ஆவிக்குச் சிறப்பியல்பான நிறமாலையிலே உள்ளவை.

இதைக் காட்டும் முறை வருமாறு:—ஒரு பிறை விளக்கினது ஒளியை நிறமாலைமானியிலே ஏற்றல் ஒரு தொடர் நிறமாலை தோன்றும். இப்போது பிறை விளக்குக்கும் நிறமாலை மானிக்கும் இடையே ஒரு உப்புக்கரை நீரினலே மஞ்சள் நிறமாக்கப்பட்ட ஒரு புன்ஸன் சுவாலையை வைப்போம். மறுபடியும் நிறமாலை மானியுள் நோக்கினல் தொடர் நிறமாலையில் மஞ்சட்

பகுதியிலே ஒரு இருண்ட கோடு தோன்றும். இந்த இருண்ட கோடு உவர நிறமாலையிலே காணப்படும் மஞ்சள் கோட்டினது இடத்திலே இருக்கிறது என்பதையும் அளந்து காட்டலாம். எனவே உவர ஆவி தனக்குச் சிறப்பியல்பான ஒளியைத் தொடர் நிறமாலையிலிருந்து தானே உட்கொண்டுவிட்டது என்பது தெரிகிறது. இப்போது உவரச் சுடரை மட்டும் நிறமாலைமானியின் முன்னே வைத்துவிட்டுப் பிறைவிளக்கை நீக்கிவிட்டால், நிறமாலைமானியின் முன்பு இருண்ட கோடு நின்ற இடத்திலேயே இப்போது உவரத்தின் மஞ்சட்கோடு நிற்பது புலப்படும். இவ்வாறு தொடர் நிறமாலையில் சில பாகங்கள் அருந்தப்பட்ட பின்னர் எஞ்சி நிற்கும் பகுதி தொடர்பற்ற நிறமாலை எனப்படும். அதிலேயுள்ள இருண்ட பகுதிகள் அருந்து-தோகுதிகள் (absorption bands) எனப்படும்.

சௌர நிறமாலையும் (Solar spectrum) பிரான்ஹோபர் வரைகளும் (Fraunhofer lines):—சூரிய வெளிச்சத்தில் ஏற்படும் சௌர நிறமாலையிலே பல அருந்து வரைகள் இருக்கின்றன. இவை பிரான்ஹோபர் என்னும் அறிஞரால் முதன் முதலில் காணப்பட்டன. எனவே அவற்றிற்கு 'பிரான்ஹோபர் வரைகள்' என்று பெயர் ஏற்பட்டது. இவ்வரைகள் ஏற்பட்டதன் காரணம் பின் வருமாறு கூறப்படும். ஞாயிற்றினது மத்திய பாகம் ஒரு தழல் பிழம்பாக இருக்கிறது. இதைப் பிழம்பு மண்டிலம் (photosphere) என்பார்கள். இதைச் சூழ்ந்து பலவேறு வாயுக்களும், பல தாதுக்களின் ஆவிகளும், பல்லாயிரம் மைல்கள் வரை பரவியிருக்கின்றன. இந்த மண்டிலம் வர்ண மண்டிலம் (Chromosphere) எனப்படும். இவை சற்றுத் தாழ்ந்த சூட்டிலே இருக்கின்றன. பிழம்பு மண்டிலத்திலிருந்து வெளிவரும் வெண்ணிற ஒளி இந்த வர்ண மண்டிலம்

வழியாக வரும்போது, அங்கு தழல் நிலையிலுள்ள வாயுக்களும் ஆவிகளும் தத்தமக்குச் சிறப்பியல்பான நிறமாலைகளுக்குரிய ஒளியை அருந்திவிடுகின்றன. இவற்றையெல்லாம் இழந்து வருகிற சூரிய வெளிச்சத்தில் இதனால் அருந்து நிறமாலை ஏற்படுகிறது.

நிறமாலைப் பாகுபாடு (Spectrum analysis) :— ஆவிநிலையிலிருக்கும் ஒவ்வொரு தாதுவும் தனக்குச் சிறப்பியல்பானதொரு வரிநிறமாலையை உண்டாக்குகிறது என்று கண்டோம். இதனால் நிறமாலையை மட்டுமே ஆராய்ந்து இதைத் தரும் தாதுவைக் கண்டுவிடலாம். இத்தகைய ஆராய்ச்சியே நிறமாலைப் பாகுபாடு எனப்படும். எனவே ஒரு தாதுவின் உண்மையை அறிவதற்கு நிறமாலைப் பாகுபாடு மிகச் சிறந்ததொரு சோதனையாகும்.

சில பொருள்களை நாம் அணுகமுடிவதில்லை. ஆனால் அவற்றிலிருந்து வரும் ஒளிமட்டும் நம்மை வந்தடையும். இத்தகைய நிலையிலே நம்மிடம் வந்த ஒளியின் நிறமாலையைக்கொண்டு அதை வெளியிட்ட பொருளிலே என்ன தாதுக்கள் இருக்கின்றன என்பதைக் காணமுடியும். பல கோடி மைல்களுக்கப்பாலுள்ள நக்ஷத்திரங்களிலே இருக்கும் தாதுக்களை அவற்றிலிருந்து வரும் ஒளியினுதவியால் நாம் காணுவது எளிதாகிறது. அருந்து நிறமாலையைக் கொண்டும் அவற்றை அருந்திய ஆவிகள் எந்த தாதுக்களைச் சேர்ந்தவை என்று நாமறியலாம். இவ்வாறே சூரியனிலிருக்கும் தாதுக்களை நாம் அறிய முடிந்தது. இதிலே சூரியனிடத்தே காணப்பட்டதொரு புதுவகைத் தாது முப்பது ஆண்டுகளுக்குப் பின்னரே பூமியில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதென்பது ஒரு அதிசயச் செய்தியாகும்.

அகச்சேம்மைக் கதிர்களும் (Infra-red-rays) புற ஊதாக் கதிர்களும் (ultra-violet rays) :—ஹேர்

ஷல் என்னும் அறிஞர் நுணுக்கமானதொரு உஷ்ணநிலை மானியைக்கொண்டு சௌர நிறமாலையில் பலவேறிடங்களிலேற்படும் சூட்டை அளந்துவரும்போது, சிவப்பு நிறத்தை யணுக அணுகச் சூடு அதிகப்படுவதாகவும், சிவப்பு நிறத்தைத் தாண்டி வெளியே சிறிது தூரத்தில் இச்சூடு உச்சநிலையை அடைகிறதென்றும் கண்டார். எனவே இங்கேயும் சூரிய கிரணங்கள் பாய்கின்றனவென்றும், ஆனால் அவை ஒளிக்கிரணங்களல்லாது வெப்பக் கிரணங்கள் என்றும் ஊகித்தார். நிறமாலையிலே சூடேற்றும் தன்மை வாய்ந்த இப்பகுதி அகச்செம்மைப் பிரதேசம் எனப்படும். இங்கே வரும் வெப்பக் கிரணங்கள் அகச் செம்மைக் கிரணங்கள் அல்லது கதிர்கள் என வழங்கும். இவை கண்ணுக்குப் புலப்படுவதில்லை.

இதன் பின்னர், ஷீல் (Scheele) என்னும் அறிஞர், சௌர நிறமாலையிலே ஊதாப் பகுதிக்கு வெளியே ஒரு உருவப்படத்தட்டை வைத்தால் அது கறுத்துவிடுகிறது என்று கண்ட செய்தி விஞ்ஞானிகளின் கருத்தைக் கவர்ந்தது. சூரிய கிரணங்கள் இங்கும் விழுகின்றன என்பது தெளிவு. ஆனால் இக்கிரணங்கள் கண்ணுக்குப் புலப்படுவதில்லை. இப்பகுதி புறஊதாப் பிரதேசம் என்றும், கண்ணுக்குப் புலப்படாது உருவப்படத் தட்டை மட்டும் தாக்கும் இக்கிரணங்கள் புறஊதாக் கதிர்கள் என்றும் சொல்லப்படும். அகச்செம்மைக் கதிர்களும் புறஊதாக் கதிர்களும் சாமானிய ஒளிக்கதிர்களைப் போன்றவையேயாகும். அவற்றைப் பிரதிபலிக்கச் செய்யலாம்; கோட்டமடையச் செய்யலாம். சிதறச் செய்யலாம். ஆனால் இவை கண்ணுக்கு மட்டும் புலப்படுவதில்லை.

வினாக்கள்

1. 'தூய்மையான நிறமாலை என்றால் என்ன? நன்றாகத் திருத்தி வைக்கப்பட்டதொரு நிறமாலைமானியில் எவ்வாறு தூய்மையான நிறமாலை ஏற்படுகிறது?

சௌர நிறமாலையிலேயுள்ள இருண்ட கோடுகளைக் கொண்டு பூமியிலுள்ள தாதுக்களில் சில சூரியனிடத்துமிருக்கின்றன வென்று எவ்வாறு காணப்பட்டது?

(அண்ணாமலை : 1931)

2. ஒரு தூய்மையான நிறமாலையைப் பெறுவதற்கானதொரு கருவியமைப்பை விவரித்துரைக்கவும்.

தூய்மையான நிறமாலை உண்டாக்குவதிலே ஒளி புகுவதற்காக வட்டமான சந்தினைக் கைக்கொள்ளாமல் ஏன் சிறு சந்து கைக்கொள்ளப்படுகிறது என்பதற்குக் காரணம் கூறுக.

(சென்னை : மார்ச்சு, 1923)

பௌதிக நூல்

ஒலியியல்

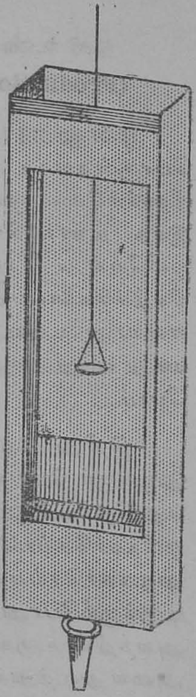
அத்தியாயம் 1

ஒலி உண்டாகும் விதமும் பரவும் விதமும்
(Production and Propagation of Sound)

முன்னுரை :—ஒலி என்ற சொல்லுக்கு இரண்டு பொருள்கள் உண்டு. நமது காதுக்குப் புலனாகும் உணர்ச்சியை ஒலி என்று சொல்லுகிறோம். மற்றும் இந்த உணர்ச்சிக்குக் காரணமான புறநிகழ்ச்சிகளையும் ஒலியென்று சொல்லுகிறோம். பௌதிகவியல் இப்புற நிகழ்ச்சிகளைப்பற்றியே விசாரிக்கிறது. நாம் ஒலிகள் எவ்வாறு உண்டாகின்றன என்பதையும், அவை எவ்வாறு நமது காதுக்கு எட்டுகின்றன என்பதையும் காண்போம்.

சிறிது யோசித்துப் பார்த்தால் ஒலிகளெல்லாம் துடிக்கும் பொருள்களிலிருந்து வெளிப்படுகின்றன என்பது தெரியவரும். ஒரு இசைக்கவட்டை (tuning fork) ஒலிக்கச்செய்யவேண்டுமானால் அதன் கிளைகளை மோதித் துடிக்கச்செய்யவேண்டும். இக்கவடு ஒலித்துக்கொண்டிருக்கும்போது அதன் கிளைகளை உற்று நோக்கவும். அவற்றின் உருவம் மங்கலாக அகன்று தோன்றுவதால் அவை துடித்துக்கொண்டிருக்கின்றனவென்பதை அறியலாம். விரலின் நுனியால் அவற்றிலொன்றை மெதுவாகத் தொடவும். அது துடிப்பதை நன்றாக உணரலாம். விரலைப் பின்னும் நன்றாக அழுத்தித் துடிப்பை நிறுத்திவிட்டால் ஒலியும் நின்றுவிடும். இவ்வாறே வீணையின் நரம்பும் துடித்தே ஒலியை உண்டாக்குகிறது என்பதைக் காணலாம். துடிக்கும் பொருள் காற்று நிரையானால் இத்துடிப்புகளை நாம் எளிதில் பார்க்கமுடியாது. ஆனால் அவற்றை நாம் தக்க பரி

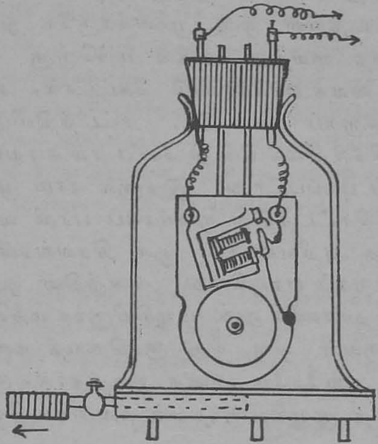
சோதனைகளால் காணலாம். ஒரு கொம்பு அல்லது தாரை ஒலித்துக்கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். அதனுள்ளிருக்கும் காற்றுநிரை துடிப்பதாகக் காணும் முறை வருமாறு: கண்ணாடிப் பலகணி வாய்ந்ததொரு இசைக் குழாயின் (organ pipe) வழியே, துருத்தியினுதவியால் காற்றைச் செலுத்தி, அதை ஒலிக்கச் செய்யவும். ஒரு சிறு காகிதக்கரண்டியில் சிறிது மணலை யிட்டு, நீண்டதொரு மெல்லிய கம்பியினுதவியால் அதைக் குழாயினுள்ளே செலுத்தவும். மணல் குதித்துச் சிதறுவதைக் கண்ணாடிப் பலகணி வழியாக நன்றாகப் பார்க்கலாம். (படம் 325).



படம் 325

ஒலி தோன்றுமிடத்திலிருந்து நமது காதுக்கு எட்டவேண்டுமானால் நடுவிலே ஒரு பதார்த்த யானம் இருக்கவேண்டியதவசியம். காற்றே சாமானியமாய் எங்கும் ஒலி பரவுவதற்கான யானமாகிறது. நெடுநாளைக்கு முன்னிருந்தவரும் புகழ்பெற்ற விஞ்ஞானியுமாகிய ராபர்ட் பாயில் (Robert Boyle) என்பவர் ஒலி பாழிடம் மூலமாகப் பரவமுடியாது என்று காட்டினார். ஆய்வுச்சாலையில் இதைக் கீழ்க்கண்ட சோதனையால் காட்டலாம். (படம் 326). ஒரு மணிச் சாடியி (bell jar) னுள்ளே ஒரு மின்சார மணியைத் தொங்கவிட்டு, அதன் வாயை ஒரு ரப்பர் அடைப்பானல் காற்றிறுக்கமாக மூடி, மணியைத் தாங்கும் இரண்டு செப்புக் கம்பிகளை அடைப்பானிலே துவார

மிட்டு வெளிக்கொண்டுவந்து மின் கலவடுக்கோடு ஒரு சாவியை இடையிலிட்டுப் பிணைத்துவிடவும். அடைப்பு காற்றிறுக்கமாக இருப்பதற்காக அதன் இடுக்குகளில் மெழுகு இழுதைத் (vaseline) தடவி



படம் 326

வைக்கவும். மணியானது சாடியின் சுவர்களைத் தீண்டாது எட்டி நிற்கவேண்டும். இம்மணிச் சாடியை ஒரு காற்று இறைவியின் பீடத்தின்மீது வைத்து, அதன் விளிம்பைச்சுற்றிலும் காற்றிறுக்கமாக இழுதைப் பூசி வைக்கவும். இப்போது சாவியை அழுத்தினல் மணியின் ஒலி நன்ருகக் கேட்கும். மெதுவாகக் காற்றை வெளியேற்றவும். மணிச்சாடியினுள்ளிருக்கும் காற்றினது இறுக்கம் குறையக்குறைய மணியின் ஒலியும் குறைந்துகொண்டே வருவதைக் கவனிக்கலாம். கடைசியில் நாம் மணிச்சாடிக்கு மிக அருகிலே நின்ருலும், மணியின் ஒலியைக் கேட்கமுடியாது போய்விடும்.

மெதுவாகச் சாடியினுள்ளே காற்று புகுமாறு செய்யவும். மணியின் ஒலி வரவர அதிகரித்துக் கடைசியில் நன்ருக ஒலிப்பதைக் காணலாம்.

ஒலி கட்டிப்பொருள்களின் மூலமாகப் பரவுவதை மிக எளிதிலே பரிசோதித்து அறியலாம். ஒரு நீண்ட மரச்சட்டத்தின் ஒரு மூலைக்கருகே ஒரு சிறு கடியாரத்தை வைத்து அதன் மற்ருெரு மூலைக்கருகே காதை வைத்துக்கொண்டு கேட்டால், கடியாரத்தின் ஒலி நன்ருகப் புலப்படும். சட்டத்திலிருந்து சிறிது தூரத்திலே விலகி நின்று கேட்டால் கடியாரத்தின் ஒலி நன்ருகப் புலப்படாது. இதனுல் நாம் முன்பு கேட்ட ஒலி மரச்சட்டத்தின் மூலமாகப் பரவி வந்திருக்கிறது என்பதை அறியலாகும். ஒலி திரவங்களின் மூலமாகவும் நன்ருகப் பரவுகிறது. குளத்தின் ஒரு துறையில் ஒருவன் தண்ணீரினுள் மூழ்கியிருக்க மற்ருெரு துறையில் ஒருவன் ஒரு சிறு குச்சியைத் தண்ணீருக்குள் முழுக்கி அங்கேயே அதை ஒடித்தால், குச்சி ஒடிந்த சத்தத்தை முழுகியிருந்தவன் நன்ருகக் கேட்கலாம்.

ஒலி ஒளியைவிட மிகக் குறைவான வேகத்தோடு செல்லுகிறது என்பதை நாம் அன்ருட அநுபவத்தில் காணலாம். இடியும் மின்னலும் மேகத்திலே ஒரே கொடியில் தோன்றுவனவாயினும், மின்னல் கண்ணுக்குப் புலப்பட்ட பிறகு சிறிது நேரம் கழித்தே இடியின் ஒலி காதுக்குப் புலப்படும். சிறிது தூரத்தில் துணி தோய்க்கும் ஒருவனைக் கவனித்தால், துணி கல்லின்மீது மோதிய சிறிது நேரம் கழித்தே சத்தம் நமது காதில் படுவதைக் கவனிக்கலாம். நிற்க, ஒலி பலவேறு யானங்களிலே பலவேறு வேகங்களோடு பரவுகிறது என்பதைப் பரிசோதனைகளால் காட்டலாம். ஒரு இரும்புத் தண்டவாளத்தின் ஒரு முனையை ஒருவன் தட்டினுல் அதன் மற்ருெரு மூலைக்கருகே நிற்பவன் இரண்டு சத்தங்களைக்

கேட்கலாம். ஒன்று இரும்புத் தண்டவாளத்தின் வழியே வந்தது. மற்றொன்று நேரே காற்றின் வழியாக வந்தது. தண்டவாளத்தினருகே செல்லச் செல்ல முதலில் கேட்ட ஒலியின் முழக்கம் (intensity) அதிகரித்து வருவதைக் காணலாம். பின்னல் கேட்ட ஒலியின் முழக்கமோ இவ்வாறு மாறுதலடையாது. இதனல் முதலில் கேட்ட ஒலி தண்டவாளத்தின் வழியாக வந்ததென்று ஊகிக்கலாம். எனவே, ஒலி காற்றிலே செல்வதைவிட கட்டிப்பொருளாகிய இரும்பிலே அதிக விரைவாகச் செல்லுகிறது. ஒலி காற்றிலே செல்வதைப்போல பதினறு மடங்கு வேகத்துடன் இரும்பிலே செல்லுகிறது என்று பரிசோதனைகளால் கணக்கிட்டிருக்கிறார்கள்.

காற்றிலே ஒலியின் வேகம் :—பீரங்கி சுடப்படும் போது ஏற்படும் ஒளியையும் ஒலியையும் நெடுந்தூரத்திலிருந்து கண்டு, கேட்டு, அவற்றினிடைப்பட்ட காலத்தைக் கொண்டே முதன் முதலில் ஒலியின் வேகம் கணிக்கப்பட்டது. A, B என்ற இருவர் ஒன்றுக்கொன்று சில மைல் தூரம் விலகியிருக்கும் இரண்டு குன்றுகளின் உச்சியில் இருண்ட இரவிலே துப்பாக்கியைக் கையில்கொண்டு ஏறிக்கொள்வார்கள். இவர்கள் தம்முடனே ஒவ்வொரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தையும் உடன்கொண்டு செல்வார்கள். முதலில் A தனது துப்பாக்கியைச் சுட, அதிலேற்படும் ஒளியைக் கண்டவுடனே B தனது கடியாரத்தை ஓடச் செய்வான். ஒளியின் வேகம் 1,86,000 மைல்/செக. ஆகையால் வேட்டுக் கிளம்பியவுடனேயே B-யின் கண்ணில் பட்டுவிடுவதாகக் கொள்ளலாம். சில நொடிகள் கழித்து, துப்பாக்கி வேட்டின் ஒலியை B கேட்டு, கடியாரத்தை உடனே நிறுத்தி, இதற்கிடையில் கழிந்த t_1 என்னும் நேரத்தைக் கணிப்பான். பிறகு B தனது துப்பாக்கி

யைச்சுட, அதன் ஒளி கண்ணுக்குப் புலப்பட்டதற்கும் வேட்டு காதுக்குப் புலப்படுவதற்கும் இடைப்பட்ட t_2 என்னும் நேரத்தை கடியாரத்தைக் கொண்டு A கண்டு பிடிப்பான். A, B-க்களுக்கிடைப்பட்ட காற்று அசைவின்றி இருந்தால், t_1, t_2 ஆகிய இரண்டும் சமமாகவே இருக்கும். ஆனால் இது எப்போதும் சாத்தியமில்லை. காற்று ஏதேனுமொரு திசையில் வீசிக்கொண்டுதானிருக்கும். இதற்காகவே t_1, t_2 என்னும் இரண்டு அளவுகளும் கண்டு குறிக்கப்படுகின்றன. காற்று வேகத்தின் பிரிநிலை A B என்ற திசையில் (w) என்ற அளவினதாய் இருப்பதாகக் கொள்வோம். அசைவில்லாத காற்றிலே ஒலியின் வேகம் V என்று கொள்வோம்.

A-யிலிருந்து B-க்கு ஒலி செல்லும் வேகம்
$(V + w)$
B-யிலிருந்து A-க்கு ஒலி செல்லும் வேகம்
$(V - w)$ ஆகும்.

A, B-க்களுக்கிடைப்பட்ட தூரம் d என்று கொண்டால் $t_1 = \frac{d}{V + w}$; $t_2 = \frac{d}{V - w}$ ஆகும்.

$$\text{இதனால் } V + w = \frac{d}{t_1} \,;\; V - w = \frac{d}{t_2} \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{எனவே } 2V = \left(\frac{d}{t_1} + \frac{d}{t_2}\right)$$

$$\text{அல்லது } V = \frac{d}{2}\left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2}\right) \text{ ஆகும்.}$$

இதனால் ஒலியின் வேகமாகிய V-யைக் கணித்துவிடலாம்.

பவனத்தில் ஈரம் சூழ்ந்திருப்பதாலும், நேரத்தை அளப்பதிலேற்படும் சில பிழைகளாலும், இவ்வாறு

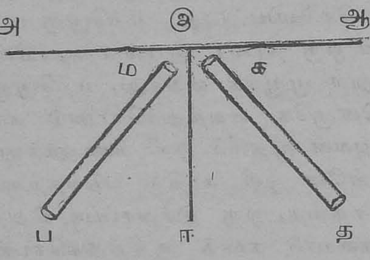
கண்ட ஈவு திருத்தமாக இருப்பதில்லை. மற்றும் பவனத்தின் சூட்டிற்குத் தக்கவாறும் இந்த வேகம் மாறுபடும். இவற்றிற்கான திருத்தங்களை யெல்லாம் சரிவரச் செய்தால் காற்றில் $0^{\circ}C$ சூட்டில் ஒலியின் வேகம் 332 மீட்டர்/செக. ஆகும்.

தண்ணீரில் ஒலியின் வேகம்:—தண்ணீரில் ஒலி செல்லும் வேகம் இருவர்களால் ஜினிவா ஏரியில் காணப்பட்டது. இரண்டு படகுகள் அந்த ஏரியில் ஒன்றுக்கொன்று 9 மைல் தூரத்தில் நிறுத்தப்பட்டன. ஒரு படகிலிருந்து நீரினுள் முழுக்கப்பட்டுள்ளதொரு வெண்கல மணி ஒரு சுத்தியால் தாக்கப்பட்டது. இவ்வாறு மோதும்போதே கொஞ்சம் வெடிமருந்து நெருப்புப் பற்றும்படி ஏற்பாடு செய்யப்பட்டது. மற்றொரு படகில் இருக்கும் ஒருவன் ஒரு தாரை போன்ற குழாயின் விரிந்த வாயை நீரினுள் முழுக்கி வைத்து, மற்றொரு வாயைத் தன் காதினருகே வைத்துக்கொண்டு கவனித்து வந்தான். அவன் முதலில் ஒளி கண்ணுக்குப் புலப்பட்டதற்கும் பின்னே ஒலி காதில் படுவதற்கும் இடையே கழிந்த நேரத்தை, ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்தும் கடியாரத்தினுதவியால் கண்டு குறித்துக்கொண்டான். இதனால் தண்ணீரில் ஒலியின் வேகம் 1435 மீட்டர்/செக. என்று காணப்பட்டது.

ஒலியின் பிரதிபலனம்:—உயர்ந்த சுவர்களின் மீதும், பெரிய மலைப்புறங்களிலும், அகன்ற நீர் நிலைகளின் பரப்பின்மீதும் ஒலிப்பிரதிபலனம் நிகழ்கிறது என்பதை நாம் அநுபவத்தில் அறிவோம். எதிரொலி (echo)யின் நிகழ்ச்சி ஒலியின் பிரதிபலனத்தாலேதான் ஏற்படுகிறது. நேராக வரும் ஒலி நமது காதில் படுவதற்கும் பிரதிபலித்து வந்த ஒலி படுவதற்கும் இடைப்பட்ட நேரம் வேண்டியவரை நீடித்திருந்தால், இரண்டு ஒலிகளையும் நன்ருக வெவ்வேருகப் பிரித்து அறியலா

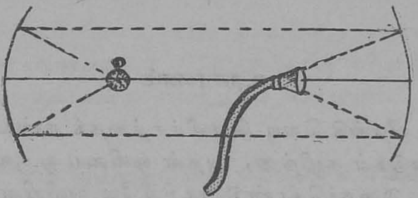
கும். இதுவே எதிரொலி எனப்படும். ஒலியின் பிரதிபலனமும் ஒளிப் பிரதிபலனத்தைப் போன்றே நிகழ்கிறது என்பதைப் பின்வரும் பரிசோதனைகளால் நன்கு எடுத்துக் காட்டலாம். (படம் 327).

1. அ ஆ என்னும் ஒரு மரப்பலகை அல்லது தகரத்தட்டியை மேஜையின்மீது செங்குத்தாக நிற்கும்படி செய்யவும். ப ம, த க என்ற இரண்டு தகரக் குழாய்களை இதன் முன்னர் படுக்கவைக்கவும். ப ம என்ற குழாயின் ஒரு முனையைத் தட்டியினருகே இருக்கும்படியும், அ ஆ, ப ம என்பவற்றினிடையே ஒரு குறுங்கோண முண்டாகும்படியும் வைக்கவும். மற்றொரு இ ஈ என்னும் தட்டியை முன் தட்டிக்கு லம்பமாக நிற்கும்படி படத்தில் கண்டவாறு வைக்கவும். முதல் குழாயின் ப என்னும் வாயினருகே ஒரு சிறு கடியாரத்தை வைக்கவும். இப்போது இரண்டாவது குழாயின் த என்னும் வாயினருகே காதை வைத்துக்கொண்டு, கடியாரத்தினொலியைக் கேட்கவும். த க-வைத் திருப்பிக்கொண்டே வந்து அதில் கேட்கும் ஒலி உச்சநிலையை அடையும்போது நிறுத்தி, ப இ ஈ, த இ ஈ என்னும் கோணங்களை அளந்தால், அவை சமமாயிருப்பதைக் காணலாம். இதனால் ஒலிப்பிரதிபலனத்திலும் மோதுங்கோணமும் மீளுங்கோணமும் சமமாகுமென்று தெரிந்துகொள்ளலாம்.



படம் 327

2. தகரத் தகட்டினால் செய்யப்பட்ட கு, கி என்னும் இரண்டு குழித்தட்டுகளை, அவை ஒன்றையொன்று பார்த்து ஒரே இருசைக்கொண்டு நிற்குமாறு ஏற்றி வைக்கவும். (படம் 328). இவற்றிடைத்தூரம் அதிகமாய் இருக்கவேண்டும். ஒரு சிறு பை கடியாரத்தை கு என்னும் தட்டினது குவியத்தில் நிற்குமாறு கட்டித் தொங்கவிடவும். ஒரு சிறிய புனலையெடுத்து அதன் காம்பிலே நீண்ட ரப்பர் குழாயொன்றின் முனையைச் செருகி, அக்குழாயின் மற்றொரு முனையைக் காதிலே வைத்துக்கொள்ளவும். புனலின் வாயை கி என்ற தட்டிற்கு முன்னே பலவேறு இடங்களில் வைத்து ஏதாவது



படம் 328

ஒலி கேட்கிறதா என்று பார்க்கவும். தட்டினது குவியத்தில் மட்டும் கடியாரத்தின் ஒலி நன்றாகக் கேட்பதையும், மற்ற இடங்களிலெல்லாம் ஒலியே கேட்காமல் இருப்பதையும் காணலாம். இதனால் முதல் தட்டின் குவியத்திலிருந்து வெளிப்பட்ட ஒலி, அத்தட்டின் மீது மோதி பிரதிபலித்து, இணையானதொரு கற்றை போல வந்து, இரண்டாவது தட்டின் மீது மோதிப் பிரதிபலித்து, அதன் குவியத்திலே சென்று குவிகின்றது என்று அறியலாகும்.

இப் பரிசோதனைகளால் ஒலியும் ஒளியைப் போன்றே பிரதிபலிக்கப்படுகிறது என்பதைத் தெரிந்து கொள்கிறோம்.

எதிரோலியால் ஒலியின் வேகம் காண :—எதிரொலி ஏற்படுவதால் காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைச் சற்று தோராயமாக அளவிடக்கூடும். ஒரு மனிதன் உயர்ந்ததொரு சுவரின் முன்னால் சிறிது தூரத்தில் நின்றுகொண்டு ஒலியை யுண்டாக்கி, இவ்வாறு ஒலியுண்டாக்கியதற்கும் எதிரொலி மீண்டு அவன் காதில் படுவதற்கும் இடைப்பட்ட நேரத்தை ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தால் அளவிட்டு, அது t என்று காண்கிறான் என்று கொள்வோம். காண்போனுக்கும் சுவருக்கும் இடைத்தூரம் D என்றும், ஒலியின் வேகம் V என்றும் கொண்டால் $\frac{2\,D}{V} = t$ அல்லது $V = \frac{2\,D}{t}$ ஆகும்.

உதாரணம்

ஒரு பீரங்கி வெடி வெளிச்சத்தைக் கண்டபின்னர் 5 செகண்டுகள் கழித்து, அதன் ஒலியை ஒருவன் கேட்கிறான். இதைக்கொண்டு காற்றிலே ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடுக.

ஒலி ஒரு மைல் கடந்து செல்வதற்கு 5 செகண்டுகள் ஆயிற்று. ஆகையால் ஒலியின் வேகம் செகண்டுக்கு $\frac{1}{5}$ மைல் ஆகும்.

அதாவது ஒலியின் வேகம்

$$= \frac{8 \times 220 \times 3}{5}$$

$$= 1056 \text{ அடி / செக. ஆகும்.}$$

வினக்கள்

1. ஒலி, ஒரு துடிக்கும் பொருளிலே தோன்றி, ஒரு யானத்தின் வழியே பரவிச் சென்று, ஒரு இசைப் பெருக்கியால் உணரப்படுகிறது என்று சொல்லப்படுகிறது. இந்த முடிபுகளை எடுத்துக் காட்டுவதற்கான பரிசோதனைகளை விவரித்துரைக்கவும்.

(அண்ணுமலை : 1931)

2. பதார்த்தத் துகள் துடிப்பதனல் ஒலி யுண்டாகிறது என்பதைக் காட்டுவதற்கான சில எளிய பரிசோதனைகளை விவரித்துரைக்கவும்.

ஒலி அலையியக்கத்தால் பரவுகிறது என்பதற்கும், இவ்வாறு பரவுவதற்கு ஏதேனுமொரு யானம் அவசியமென்பதற்கும் என்ன சான்றுகள் உள்ளன.

(பாட்ண : 1933)

3. காற்றிலே ஒலியின் வேகத்தை எவ்வாறு அளவிடலாம்?

ஒரு கிணற்றினுள்ளே கல்லைப் போட்ட 5 செகண்டுகளுக்குப் பின்னர் தண்ணீரில் கல் விழுந்த சப்தம் கேட்டது. கிணற்றின் ஆழம் எவ்வளவு? (காற்றிலே ஒலியின் வேகம் 331 மீட்டர்/செக.)

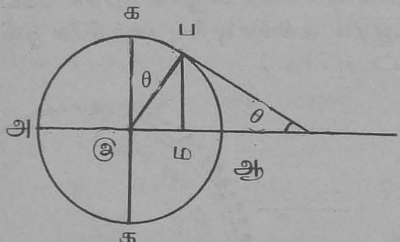
ஸ்ரீ சரபோசி சரசுவதி மகால்

அத்தியாயம் 2

எளிய இசை-இயக்கமும் அலை-இயக்கமும்
(Simple harmonic motion and wave motion)

ஒலியைத் தரும் எல்லாப் பொருள்களும் துடிக்கின்றன என்று முன்பு கூறினோம். ஒரு துகளானது ஒரு புள்ளியி னிருபுறமும் மாறி மாறிச் சென்றால் அது துடிப்பதாகக் கூறப்படும். இவ்வாறான துடிப்புகளிலே துடிக்கும் துகள் நிலைப்புள்ளியைக் கடந்து செல்லுவதற் கிடைப்பட்ட நேரங்கள் பெரும்பாலும் சமமாக விருக்கும். இந்த இடை நேரமே துடிக்கும் 'பொழுது' (period) அல்லது துடிப்பின் 'பொழுது' எனப்படும்.

இவ்வாறான துடிப்புகளிலே மிகவும் எளியதான ஒரு வகை 'எளிய இசையியக்கம்' அல்லது 'எளிய இசைத்துடிப்பு' எனப்படும். ஒலியியலிலே இந்த இசைத்துடிப்பு பெரிதும் பயன்படுகிறது. இது எவ்வாறு ஏற்படுகின்றது என்பதை இனிக் காண்போம்.



படம் 329

ப என்னும் ஒரு துகள் சீரான வேகத்தோடு ஒரு வட்டத்தின் பரிதியின்மீது ஓடிக் கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். (படம் 329). இந்த வட்டத்தினது அஆ என்ற நிலையானதொரு விட்டத்தின்மீது ப-விலிருந்து பம என்ற ஒரு லம்பத்தை வரைவதாகக் கொள்வோம்.

ப என்ற துகள் வட்டத்தைச் சுற்றி ஓடிக்கொண்டிருக்கும்போது இந்த லம்பத்தின் அடியாகிய ம, இ என்ற மையத்தின் இருபுறமும் முன்னும் பின்னுமாக மாறி மாறி ஓடிவரும். இப்போது ம என்பது அஆ-வின் மீது ப-வின் 'வீழ்ச்சி' (projection) எனப்படும். ப ஒரு முறை வட்டத்தைச் சுற்றிவருவதற்குள்ளாக அதன் வீழ்ச்சியாகிய ம என்பது, அ இ ஆ என்ற கோட்டின்மீது ஒரு முறை முற்றும் முன்னும் பின்னும் போய்வரும். இவ்வாறாகிய ம-வின் இயக்கம் 'எளிய இசை-இயக்கம்' எனப்படும். ப என்ற துகள் இந்த இயக்கத்தின் 'ஆக்கப்புள்ளி' (generating point) எனப்படும். இ என்ற புள்ளி 'சமநிலை மையம்' (equilibrium position) எனப்படும்.

பொழுது (period), வீச்சு (amplitude), முகம் (phase) :—

எளிய இசையியக்கத்தை நிகழ்த்தும் ம என்ற புள்ளி, அடுத்தடுத்து ஒரே முகமாக இ-யைக் கடப்பதற்கு இடைப்பட்ட நேரம், இந்த இயக்கத்தின் 'பொழுது' எனப்படும். இதை எப்போதும் T என்று குறிப்பது வழக்கம். ஒரு எளிய இசை இயக்கத்தின் பொழுது என்பது ஆக்கப்புள்ளி ஒரு முறை வட்டத்தைச் சுற்றி வருவதற்கு ஆகும் நேரம் என்பது தெளிவு. ஒரு புள்ளி ஒரு செகண்டிலே நிகழ்த்தும் துடிப்புகளின் எண்ணிக்கை அதன் 'அடுக்கம்' (frequency) எனப்படும். இதை n என்று குறிப்பது மரபு. அடுக்கம் என்பது பொழுதின் முறைமாறல் என்பதும் தெளிவு. எனவே $n = \frac{1}{T}$ ஆகும்.

துடிக்கும் புள்ளி சமநிலை மையத்திலிருந்து விலகிச் செல்லும் உச்சநிலையின் தூரம் இந்த இயக்கத்தின்

‘வீச்சு’ எனப்படும். மேலே கண்ட வகையிலே இது ஆக்க வட்டத்தின் ஆரமாகும் என்பது எளிதிலே விளங்கும். துடிக்கும் புள்ளி சமநிலையைத் தாண்டியபிறகு கழிந்த நேரத்தை பொழுதின் பின்னமாகக் கூறினால் அது முகம் எனப்படும். ஒரு நொடியில் முகம் நமக்குத் தெரிந்திருந்தால் அந்த நொடியில் சமநிலையிலிருந்து விலகிய தூரத்தையும், இயக்கத்தின் திசையையும், நாம் நிர்ணயித்துவிடலாம். இவ்வாறே விலகிய தூரத்தையும் இயக்கத் திசையையும் அறிந்தால், அந்நொடியிலே இயக்கத்தின் முகத்தையும் நாம் நிர்ணயித்துவிடக் கூடும். எனவே முகம் என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட நொடியிலே இயக்கத்தின் நிலைமையைத் தெரிவிக்கிறது. முன் கண்ட படத்தில் ப என்ற புள்ளி க ஆ என்ற வட்டத் துண்டின் நடுவிலே இருப்பதாகக் கொள்வோம். க-வைக் கடந்தபின்னர் கழிந்த நேரம் பொழுதிலே $\frac{1}{8}$ பங்கு ஆகும். எனவே ம-வின் முகம் $\frac{T}{8}$ ஆகும்.

துடிப்பின் முகத்தை, இ ப என்ற ஆரக்கதிர் (Radius vector) வீசிச் சென்ற கோணத்தைக் கொண்டும் குறிப்பிடலாம். இதன்படி ம-வின் முகம் θ என்று குறித்துள்ள க இ ப என்ற கோணத்தினால் குறிக்கப்படும். ப என்ற துகள் க ஆ என்ற வட்டத்துண்டின் மத்தியில் இருந்தால் இயக்கத்தின் முகம் $\theta = \frac{\pi}{4}$ ஆகும். இரண்டு துகள்களின் முகவேற்றுமை T ஆனால், அது 2π கதிரை (radian) அல்லது 360°க்குச் சமமாகும்.

எளிய இசை-இயக்கத்தில் கதியும் முடுக்கமும்

கதி :—எளிய இசை-இயக்கத்தை நிகழ்த்தும் ஒரு துகளின் கதி, சலன எல்லைகளிலே சூனிய அளவினதாயும், சமநிலை மையத்திலே உச்ச அளவினதாயும்

இருக்கும் என்பது எளிதில் விளங்கும். இதனால் இடைப்பட்ட புள்ளிகளிலே கதி நடுத்தரமாய் இருக்குமென்று ஊகிக்கலாம். எந்த நொடியிலும் துகளின் கதியைக் கணக்கிடும் முறை வருமாறு :—

ப என்ற புள்ளியினது கதியை, அ ஆ என்ற கோட்டுக்கு இணையான திசையிலே வகுத்தால் வரும் பிரிநிலை கதியே, ம என்ற புள்ளியின் கதியாகும். V என்பது ப-வின் நோடிக் கதியானல் (instantaneous velocity) இது வட்டத்திற்குப் பரிசமான திசையிலே நிற்கும். இதனால் ம-வின் கதி $V \cos\theta$ ஆகும். நிற்க ப-வின் கோண கதி (angular velocity) w என்றும், வட்டத்தின் ஆரம் r என்றும் கொண்டால், $V = r\,w$ ஆகும். எனவே, இசை-இயக்கம் இயற்றும் ம என்ற துகளின் கதி $v = r\,w \cos\theta$ ஆகும்.

முடுக்கம் :—ப-வினது முடுக்கத்தை, அ ஆ-வுக்கு இணையாக வகுக்க வரும் பிரிநிலையே, ம-வின் முடுக்கமாகும். ப-வின் முடுக்கமோ $\frac{V^2}{r}$ அல்லது w^2r ஆகும். அ ஆ-வுக்கு இணையான இதன் பிரிநிலை $w^2r \sin\theta$ ஆகும். ஆனல் $\sin\theta = \frac{\text{இம}}{r}$. எனவே ம-வின் முடுக்கமாகிய $a = w^2$ இ ம. ஆனல் இ ம என்பது ம-வின் விலகுந் தூரமாகும். இதை d என்று குறித்தால் ம-வின் முடுக்கம் $a = w^2d$ ஆகும். இது இ-யை நோக்கி இருக்கும். இதனால் எளிய-இசை-இயக்கம் இயற்றும் ஒரு துகளின் முடுக்கம், அதன் சமநிலை மையத்தை நோக்கி இருக்கிறதென்றும், துகளின் விலகுந் தூரத்திற்கு அது ஏற்பவுள்ளது என்றும் தெரிந்துகொள்ளலாம். நிற்க, எளிய இசை-இயக்கத்தின் இலக்கணம் மேலே நாம் முடுக்கத்திற்குக் கண்ட வாய்பாட்டை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளது. இந்த இலக்கணம் மிகப் பொதுவா

னது. அதற்கு வட்டமும் ஆக்கப்புள்ளியும் வேண்டிய அவசியமில்லை. இவையெல்லாம் இந்த எளிய இசை-இயக்கத்தை நன்கு விளக்குவதற்காக எடுத்துக்கொண்ட சாதனங்களேயாகும். எளிய இசை-இயக்கத்தின் இலக்கணம் வருமாறு:—

ஒரு துகள் ஒரு சமநிலை மையத்தின் புறங்களில் துடிக்கும்போது, அத்துகளின் முடுக்கம் எப்போதும் சமநிலை மையத்தையே நோக்கியும், விலகுந் தூரத்திற்கு ஏற்பவும் இருந்தால், அத்துகள் எளிய இசை-இயக்கம் உடையதாகக் கூறப்படும்.

இந்த இலக்கணத்தைக்கொண்டு எளிய இசை-இயக்கம் இயற்றுமோர் துகளின் கதியையும், அது விலகுந் தூரத்தையும் கணக்கிட்டுவிடலாம். அக்கணக்கீடுகளெல்லாம் விடுத்து இந்த இயக்கத்தின் பொழுதை மட்டும் நாம் கவனிப்போம்.

2π என்பது ஒரு வட்டக்கோணம்.

w என்பது ப-வின் கோணகதி.

எனவே பொழுது $T = \frac{2\pi}{w}$ ஆகும்.

ஆனால் முடுக்கம் $a = w^2 d$ என்று கண்டோம்.

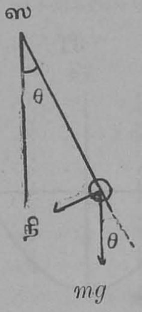
எனவே $w = \sqrt{\frac{a}{d}}$

இதனால் $T = \frac{2\pi}{w} = 2\pi\sqrt{\frac{d}{a}}$ ஆகும்.

எளிய இசை-இயக்கத்திற்கு உதாரணங்கள்

1. சாமானிய நாலம்:—ஒரு சாமானிய நாலக்குண்டினது ஆட்டம் எளிய இசை-இயக்கத்திற்கோர் உதாரணமாகும். இக்குண்டு நேர்கோட்டிலே செல்லாது ஒரு சிறிய வளைவுகோட்டிலே செல்லுகிறது என்பது

உண்மையேயாயினும், இந்த ஆட்டத்தின் வீச்சு மிகச் சிறியதாய் இருந்தால் இவ்வளைவை ஒரு நேர்கோடாகவே கொள்வதில் பாதகமொன்றுமில்லை. படத்தில் (படம் 330) கண்டபடி சாமானிய நாலக் குண்டின்நிறை



படம் 330

m ஆனால் அதன்மீது தொழிற்படும் சக்தி mg ஆகும். இது செங்குத்தாகக் கீழ்நோக்கி இருக்கிறது. குண்டு ஆடும் திசையிலே இச்சக்தியின் பிரிநிலை $mg \sin \theta$ ஆகும். இச்சக்தியினால்தான் நாலம் முன்னும் பின்னுமாகத் துடிக்கிறது. குண்டின் நிறை m ஆகையால் அதன்மீது இச்சக்தியால் ஏற்படக்கூடிய முடுக்கம் $g \sin \theta$ ஆகும். θ மிகச் சிறியதானால் $\theta = \sin \theta$. எனவே குண்டின்மீது ஆட்டத் திசையிலே சமநிலை மையத்தை நோக்கித் தொழிற்படும் முடுக்கம் $a = g\theta$ ஆகும். ஆனால் $\theta = \frac{d}{l}$. இதில் l என்பது நாலத்தின் நீளம். d என்பது விலகுந் தூரம்.

எனவே முடுக்கம் $a = \frac{gd}{l}$ ஆயிற்று.

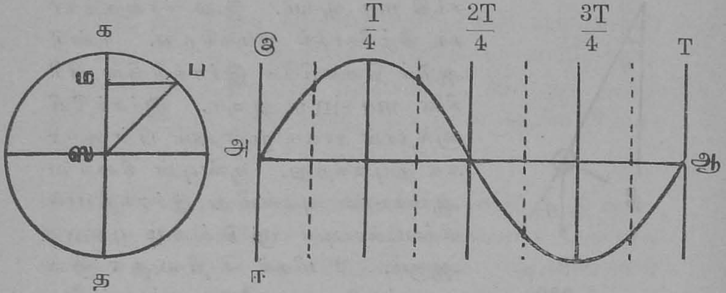
இதனுல் சாமானிய நாலத்தின் பொழுது

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{d}{a}}$$

அல்லது $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ ஆயிற்று.

எளிய இசை-இயக்கத்தை உருவகப்படுத்துதல்:– ப என்ற ஒரு ஆக்கப்புள்ளி சீரான வேகத்தோடு வட்டத்திலே சுழலுவதாகக் கொள்வோம். க த என்ற விட்டத்தின்மீது இதன் வீழ்ச்சியாகிய ம எளிய இசை

இயக்கத்தை இயற்றும். வெவ்வேறு நொடிகளிலே ம-வின் விலகுந் தூரங்களைக் கண்டு நேரத்தைப் படுக்கை ஆயமாகவும், விலகுந் தூரத்தை நிலுவை-ஆயமாகவும் கொண்ட ஒரு உருவகத்தை வரையலாம். (படம் 331 (1)).



படம் **331** (1)

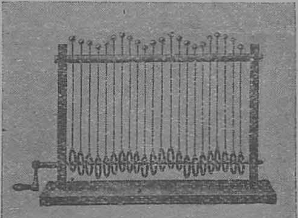
இந்த உருவகத்திலிருந்து இடைப்பட்ட நொடிகளில் இருக்கக்கூடிய விலகுந் தூரங்களையும் கண்டு கொள்ளலாம். இது ஒரு sine வரை எனப்படும். இதில் ம என்ற புள்ளி மையப் புள்ளியைத் தாண்டி மேனோக்கியது முதற்கொண்டு நேரம் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது.

அலை-இயக்கம்:—முன்பு ஒலிகளெல்லாம் துடிப்பினால் ஏற்படுகின்றனவென்றும், அவை திட திரவ வாயுப் பொருள்களில் வரையறுக்கப்பட்ட கதிகளோடு செல்லுகின்றனவென்றும் கண்டோம். ஒலி, துடிப்புக் கண்ணிலிருந்து (vibrating source), சூழ்ந்திருக்கும் யானத்தின் வழியாக எவ்வாறு பரவுகிறது என்பதை நாம் இப்போது காண்போம்.

நீர் அலைகள்:—குளத்தில் ஒரு கல்லை விட்டெறிந்தால் அது விழுந்த இடத்திலிருந்து அலைகள் தோன்றி

நீர்ப்பரப்பு முழுவதும் பரவுகின்றன. சிறிது நேரத்திலே இவை அடங்கிவிடுகின்றன. ஆனால் நாம் ஒரு குச்சியின் நுனியைத் தண்ணீரினுள்ளே முழுக்கி, அதை ஆட்டிக்கொண்டே இருந்தால் அலைகள் தோன்றிக்கொண்டேயிருக்கும். தண்ணீரின் பரப்பின்மீது ஒரு சிறு நெட்டித் துண்டை மிதக்கவிட்டால் அதனடியில் அலைகள் செல்லும்போது, அத்துண்டு மேலுங் கீழுமாக ஆடுவதைக் காணலாம். ஆனால் அது தன்னிடத்தைவிட்டுச் சிறிதும் நகர்ந்து செல்லவில்லை என்பதையும் காணலாம். இதனால் ஒரு உண்மை வெளிப்படுகிறது. அதாவது அலைகள் நாற்புறமும் பரவிச் சென்றாலும் தண்ணீர் அவ்வாறு பரவி ஓடுவதில்லை. ஒவ்வொரு நீர்த்துகளும் தானிருக்கும் இடத்திலேயே நின்றுகொண்டு மேலுங் கீழுமாக மட்டுமே ஆடுகிறது. முதலில் இதை நம்புவது கடினமாயிருக்கும். ஆனால் இதை அலை-இயந்திரம் என்னும் கருவியால் தெளிவாக எடுத்துக் காட்டலாம்.

(படம் 331 (2))இல் கண்டபடி இந்தக் கருவியிலே பல கம்பிகளின் நுனிகள் ஒவ்வொன்றிலும் ஒவ்வொரு பந்து பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. கருவியிலுள்ள கைப்பிடியைச் சுழற்றினால் இக்கம்பிகள் ஒவ்வொன்றும் மேலுங் கீழுமாக ஓடும். ஒவ்வொரு பந்தும் தனக்கு முன்னுள்ள பந்திற்குச் சற்றே பின்தங்கியும், தனக்குப் பின்னுள்ள பந்திற்குச் சற்று முன்னேறியும் ஆடுகிறது. இதனால் கைப்பிடியைச் சுழற்றும்போது இக்கருவியின் மேற்புறத்திலே ஒரு அலை பரவுவது போலத்



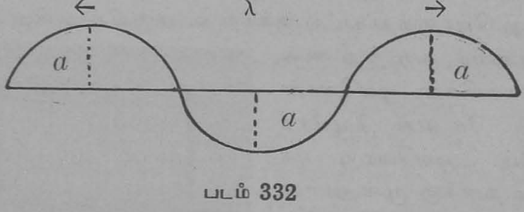
படம் 331 (2)

தோன்றுகிறது. இந்த அலை படுக்கைத் திசையிலே நகர்ந்து செல்லுகிறது. ஆனால் ஒவ்வொரு பந்தும் மேலும் கீழுமாக அசைகிறதேயன்றி, படுக்கைத் திசையிலே நகரவில்லை என்பதை நாமறியலாம். இதுவே நீர்ப்பரப்பின்மேல் உண்டாகும் அலைக்குச் சிறந்த உவமையாகும். இவ்வாறு இயங்கும் அலைகள் குறுக்கலைகள் (transverse waves) எனப்படும். குறுக்கலைகளிலே ஒவ்வொரு துகளும் அலை செல்லும் திசைக்குக் குறுக்காகவே இயங்கும். இந்த அலைகளுக்குரிய மூன்று அம்சங்களைத் தெரிந்துகொள்ளவேண்டும்.

(1) ஒவ்வொரு துகளும் தன் சமநிலைமையிலிருந்து விலகிச் செல்லும் உச்சமான தூரம் அந்த அலையின் வீச்சு எனப்படும்.

(2) ஒவ்வொரு துகளும் ஒரு செகண்டிலே இயற்றும் துடிப்புகளின் எண்ணிக்கை அந்த அலையின் அடுக்கம் எனப்படும்.

(3) ஒரே துடிப்பு முகத்திலே நிற்கும் இரண்டு துகள்களுக்கிடைப்பட்ட தூரம் அலையின் நீளம் எனப்



படம் 332

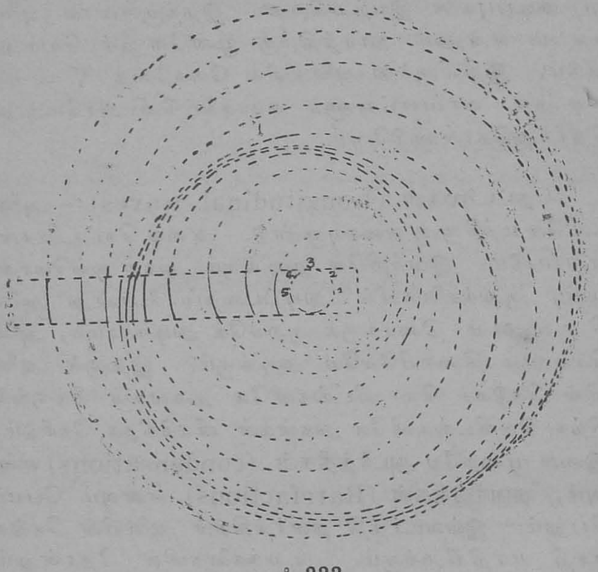
படும். இதன்படி படத்திலே (படம் 332) கண்டுள்ள '*a*' என்பது அலையின் வீச்சாகும். λ என்பது அலையின் நீளமாகும்.

ஒரு துகள் ஒரு அலையினது முகட்டில் (crest) இருப்பதாகக் கொள்வோம். இத்துகள் அடுத்து வரும்

அலையின் அகட்டினுள்ளே (trough) இறங்குகிறது. பிறகு இதை யடுத்துவரும் அலை முகட்டின்மீது மீண்டும் ஏறிவிடுகிறது. எனவே இத்துகள் ஒரு முழுத் துடிப்புத் துடிப்பதற்குள்ளே அலைகள் ஒரு அலை நீளத்தினளவுக்கு முன்னேறிச் சென்றுவிடுகின்றன. துடிப்பின் அடுக்கம் (n) ஆனால் ஒரு செகண்டிலே ஒரு துகள் (n) துடிப்புகளை இயற்றுகிறது. இதற்குள்ளாக அலைகள் $n\lambda$ என்னும் தூரத்திற்கு முன்னேறிச் சென்றுவிடும். இதிலிருந்து அலைகளின் வேகத்தை $V = n\lambda$ என்னும் வாய்பாட்டினால் கணக்கிட்டுவிடலாமென்று தெரிந்துகொள்ளுகிறோம்.

நெட்டலைகள் (Longitudinal waves) :—அலைகளிலே மற்றொரு வகையுமுண்டு. அவை நெட்டலைகள் எனப்படும். இவற்றிலே துடிக்கும் துகள் ஒவ்வொன்றும், குறுக்கலைகளில் துடிப்பதைப் போன்று அலை செல்லும் திசைக்குக் குறுக்கே துடிக்காமல், அலை செல்லும் திசையிலேயே துடிக்கும். இதனால் அலையின் நெடுகச் சில விடங்களிலே துகள்கள் நெருங்கி நிற்க, சிலவிடங்களிலே துகள்கள் விலகிநிற்க நேரிடும். இவை முறையே அடர்த்திகள் (condensations) எனவும், தளர்த்திகள் (Rarefactions) எனவும் பெயர் பெறும். இவ்வடர்த்தி தளர்த்திகள் அலையின் நெடுக மாறி மாறியிருக்கும். குறுக்கலைகளில் தோன்றும் அகடு முகடுகளை முறையே இவ்வடர்த்தி தளர்த்திகளுக்கு ஒப்பிடலாம். இவையெல்லாம் அலையோடும் திசையிலே தாமும் மாறி மாறி ஓடுவதாகக் கண்ணுக்குப் புலப்படும். இந்த நெட்டலைகளை ஒரு பரிசோதனையால் காட்டலாம். (படம் 333) இல் கண்டபடி ஒரு தட்டின் மீது 1, 2, 3, 4..........முதலிய புள்ளிகளை மையங்களாகக்கொண்டு, ஒன்றைவிட ஒன்று ஒரே அளவில் பெரியதான ஆரங்களைக் கொண்ட வட்டங்களை வரைய

வும். இத்தட்டின் மையத்திலிட்ட ஒரு துவாரம் வழியாக ஒரு ஊசியைக் கோத்து, இத்தட்டை ஏற்றிவைக்கவும். மற்றொரு அட்டைத் துண்டிலே ஒரு சந்து செய்து அதை இத்தட்டின் முன்னால் படத்தில் கண்டவாறு நிறுத்திவைக்கவும். இச்சந்தின் வழியாகப் பார்த்தால் சில இடங்களில் வட்டத்தின் கோடுகள் அடர்ந்தும்



படம் 333

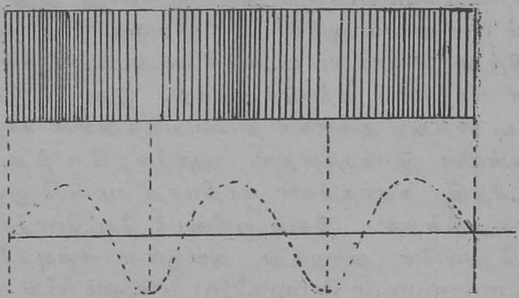
சில விடங்களில் தளர்ந்தும் காணப்படும். தட்டை முதலில் மெதுவாகச் சுற்றிப் படிப்படியாக வேகத்தை அதிகரிக்கவும். இப்போது சந்தின் வழியாகப் பார்த்தால் அடர்த்திகளும் தளர்த்திகளும் மாறி மாறி ஒரே திசையில் முன்னேறிச் செல்வது தெரியவரும். மற்றும் ஒவ்வொரு கோடும் சற்றே முன்னும் பின்னுமாக இயங்குவதும் விளங்கும். இவ்வாறு ஒரு தனிக் கோடு முன்

னும் பின்னுமாகத் துடிக்கும் துடிப்பின் வீச்சு மிகச் சிறியதாய் இருக்கும். இந்த ஏற்பாடு நெட்டலைகளின் இயக்கத்தை நன்கு விளக்குவதாகும்.

ஒலி அலைகள் :-காற்றிலேற்படும் ஒலி அலைகளும் இந்த வகையைச் சேர்ந்த நெட்டலைகளேயாகும். ஒரு ஒலி யெழுப்பும் பொருள் துடிக்கும்போது அது முன்னும் பின்னுமாக ஆடுகிறது. இதனால் இது தன்னை அடுத்துள்ள காற்றுப் படலத்திலே அடர்த்தி தளர்த்திகளை மாறிமாறி ஏற்படுத்துகிறது. இதனால் இயக்கப்பட்ட காற்றுத் துகள்கள் தம்மையடுத்துள்ள காற்றுத் துகள்களை இயக்குகின்றன. ஆகவே மேற்கூறிய அடர்த்தி தளர்த்திகள் மாறிமாறி முன்னோக்கிச் செல்லுகின்றன. இவை ஒலியைக் கேட்போனுடைய காதினுள்ளே நுழைந்து அங்குள்ள சவ்வுத்தோலை (Tympanum or Drum-skin) முன்னும் பின்னுமாக மாறிமாறி அசைக்கின்றன. இந்த அசைவே சில சிறிய எலும்புகளின் வாயிலாகக் கேள்வி நரம்புகளுக்குச் சென்று அவற்றின் மூலமாக மூளைக்கு ஒலியின் உணர்ச்சியைத் தெரிவிக்கின்றன. ஒலியைத் தரும் பொருளின் துடிப்பின் அடுக்கமும் காதிலுள்ள சவ்வினது இயக்கத்தின் அடுக்கமும் சமமாகும். ஒலிக்கும் பொருள் எந்த அடுக்கத்தை மேற்கொண்டாலும் காதுச் சவ்வும் அதே அடுக்கத்தை மேற்கொள்ளும்படி செய்யப்படும்.

நெட்டலைகளை உருவகப்படுத்துதல் :—ஒரு நெட்டலை இயங்கிக்கொண்டிருக்கும்போது துகள்களெல்லாம் அலையோடும் திசையிலேயே இயங்குவதால், அவற்றின் விலகுந் தூரத்தை ஒரு உருவகத்தினால் காட்டமுடியாது. ஆனால் இத்துகள்களின் இயக்கத்தால் அடர்த்தி தளர்த்திகள் ஏற்படுவதால், அலையின் ஒவ்வொரு புள்ளிக்கருகிலும் இறுக்கம் வேறுபட்டுக் கொண்டேயிருக்கும். ஆகையால் நேரத்தைப் படுக்கை

ஆயமாகவும் இறுக்கத்தை நிலைவை ஆயமாகவும் கொண்டதொரு உருவகத்தை எளிதிலே வரைந்துவிடலாம். (படம் 334). நாம் முன்பு குறுக்கலைகளின் உருவகத்தைக் கையாண்டது போலவே இந்த உருவகத்தையும் கையாளலாம். இதிலே அலை-நீளமென்பது அடுத்



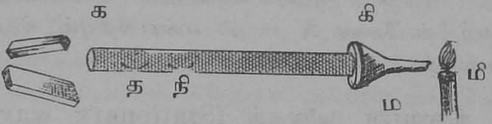
படம் 334

துள்ள இரண்டு அடர்த்திகள் அல்லது தளர்த்திகளுக்கிடைப்பட்ட தூரமாகும். அடுக்கமென்பது ஏதேனுமோரிடத்தை ஒரு செகண்டிலே கடந்து செல்லும் அடர்த்திகளின் எண்ணிக்கை அல்லது தளர்த்திகளின் எண்ணிக்கை என்று கொள்ளலாம். வீச்சு என்பது ஒரு நொடியிலே ஒரு புள்ளியிலேற்படும் அடர்த்தியின் உறைப்பு அல்லது இறுக்கம் ஆகும். இதிலும் $V = n\lambda$ என்ற வாய்பாட்டினால் அலையின் சலன வேகத்தைக் கணக்கிடலாம்.

ஒலி அலைகள் முன்னேறிச் செல்லும்போது தம்முடன் காற்றையும் உடன்கொண்டு செல்லவில்லை என்பதை ஒரு எளிய பரிசோதனையால் காட்டிவிடலாம். அது வருமாறு :—

(படம் 335)இல் கண்டபடி அகன்ற வாயையுடைய க கி என்னும் நீண்டதொரு குழாயை மேஜையின்மீது

வைத்து, ம என்ற ஒரு புனலை ஒரு முனைக்கருகில் அதன் வாய் குழாயின் நுனியை உட்கொண்டிருக்குமாறு வைக்கவும். புனலின் காம்பிற்கு அருகே மி என்ற ஒரு வத்தியை ஏற்றிவைக்கவும். த, நி என்ற இரண்டு



படம் 335

சிறு கண்ணாடித் தட்டுகளிலே ஒன்றில் உறைப்பான நீர்ப்பாசிகக் (HCl concentrated) காடியையும், மற்றொன்றில் நவச்சாரத் திரவத்தையும் எடுத்துக் கொண்டு, அவற்றைக் குழாயின் மற்றொரு முனைக் கருகில் வைக்கவும். இவையிரண்டும் கலந்து வெண்ணிறமான புகையுண்டாக்கும். இவற்றினருகே இரண்டு சிறு கட்டைகளைத் தட்டிச் சத்தமெழுப்பினால், ஒவ்வொரு தரம் தட்டும்போதும் வத்தியின் சுடர் துடிப்பதைப் பார்க்கலாம். சில சமயங்களில் அது அணைந்து விடவும் கூடும். ஆனால் புகைமட்டும் குழாயின் வழியாக நுழைந்து புனலினது காம்பின் வழியாக வெளிப்படாது. இதனால் ஒலி அலைகளோடு காற்றுத் துகள்கள் ஓடுவதில்லை என்பதைத் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

அலை-இயக்கத்தின் இயல்புகள்

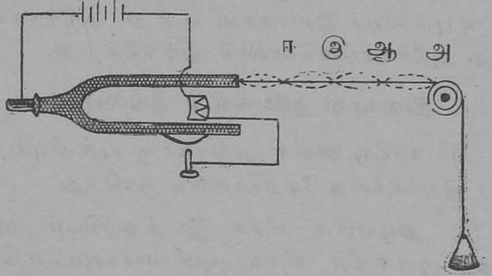
முன்னேறும் அலைகள் (Progressive waves) :— எத்தகைய அலை-இயக்கத்திலும், ஒவ்வொரு துகளும் தன்னிருப்பிடத்திற்கு இருபுறமும் சிறிது தூரம் சென்று மீண்டு வந்து துடித்துக்கொண்டிருக்கிறது. இத்துகள்கள் அலை செல்லும் திசைக்குக் குறுக்கான தளங்களிலே இயங்கினால் அவை முன்னேறும் குறுக்கலைகள் எனப்படும். இத்துகள்கள் அலை செல்லும்

திசைக்கு இணையான தளங்களிலே இயங்கினுல் அவை முன்னேறும் நெட்டலைகள் எனப்படும். இந்த இரண்டு வகை அலைகள் செல்லும்போதும் யானத்தின் எப்பகுதியும் முற்றும் நகருவதில்லை என்பதை நினைவுகூரவேண்டும். மற்றும் குறுக்கலைகளிலும் நெட்டலைகளிலும் அவற்றின் வேகம் V = $n\lambda$ என்பதையும் நினைவுகூர வேண்டும்.

நிலையான அலைகள் (Stationary waves):—ஒரு யானத்திலே ஒன்றுக்கொன்று சர்வ சமமான இரண்டு அலைத்தொடர்கள் எதிரான திசைகளிலே செல்லுவதாகக் கொள்வோம். சர்வ சமமான அலைகள் என்ருல், அவற்றின் வீச்சு, அலைநீளம் என்பனவெல்லாம் சமமாக இருக்கவேண்டும். இவ்வாறு இரண்டு அலைத்தொடர்களின் இயக்கத்துக்குட்பட்ட யானத்திலே, சில புள்ளிகள் எப்போதும் இயங்காநிலையிலே நிற்கவேண்டிவரும். இவ்வாருன இயங்காத புள்ளிகள் 'முடிகள்' (nodes) எனப்படும். ஒவ்வொன்றின் இடைத்தூரம் அலைநீளத்தில் பாதியாகும். அடுத்தடுத்துள்ள எந்த இரண்டு முடிகளினிடைத் தூரமும் அலைநீளத்தில் சரிபாதியேயாகும். இரண்டு முடிகளுக்கிடைப்பட்ட துகள்களெல்லாம் துடித்துக்கொண்டேயிருக்கும். இவற்றின் வீச்சு, முடிக்கருகில் சூனியமாக இருந்து, படிப்படியாக அதிகரித்துக்கொண்டே வந்து, அலைநீளத்திற் காற்பங்கு தூரத்திலே உச்சநிலையை அடைந்து, பின்னர் படிப்படியாய்க் குறைந்து, அடுத்த முடிக்கருகிலே மறுபடியும் சூனியமாகும். உச்சநிலைவீச்சைக் கொண்ட புள்ளிகள் எதிர்-முடிகள் (antinodes) எனப்படும். இரண்டு முடிகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம் அலைத்தொடரின் துடிப்புக்கண்டம் (vibrating segment) எனப்படும். இத்தகைய துடிப்புக்குட்பட்ட யானம் 'நிலையான அலைகளை'க் கொண்டிருப்பதாகக்

கூறப்படும். இதில் அலைத்தொடர் முன்னேறிச் செல்லாது நிலையாக நிற்பதால் இது இப்பெயர் பெற்றது. முன்னேறிச் செல்லும் அலைத்தொடர்கள் பிரதிபலித்து மீண்டுவருவதால் இத்தகைய நிலையான அமைப்பைக் கொண்ட அலைகள் ஏற்படும். பிகுவுள்ள ஒரு சரட்டிலே முன்னேறிச் செல்லும் ஒரு குறுக்கலை சரட்டின் முனை பிணிக்கப்பட்ட இடத்திலே பிரதிபலித்து மீண்டு வரும்போது ஏற்படும் நிலையான அலைகளையும், நீண்ட கண்ணாடிக் குழாயில் ஊதுவதால் ஏற்படும் நிலையான காற்று அலைகளையும் இதற்கு உதாரணங்களாக கூறலாம்.

கீழ்க்கண்ட பரிசோதனையால் நிலையான அலைகள் ஏற்படுவதைக் காட்டலாம் :—(படம் 336). ஒரு நீண்ட



படம் 336

சரட்டினது ஒரு முனையை, ஒரு இசைக் கவட்டின் ஒரு கிளையின் நுனியிலே கட்டி, மற்றொரு முனையை ஒரு கிலப்புச் சகடையின் மேலே கொண்டுவந்து, அதன் நுனியிலே ஒரு சிறு தட்டைக் கட்டித் தொங்கவிடவும். தட்டிலே வேண்டிய எடைகளையிட்டு சரட்டின் பிகுவை நாம் விரும்பியவாறு மாற்றிக்கொள்ளலாம். இசைக் கவட்டின் கிளை சரடு நிற்கும் திசைக்குக் குறுக்கே துடிக்கும்படி வைத்து, அதைத் தொடர்ந்து துடிக்குமாறு செய்யவும். இப்போது தட்டிலுள்ள எடையைச்

சரிப்படுத்தினால் சரடு அ ஆ, ஆ இ, இ ஈ ....என்பன போன்ற பல கண்டங்களாகப் பிரிந்து துடிப்பதைக் காணலாம். அ, ஆ, இ.........என்பன முடிகளாகும். இக்கண்டங்களின் எண்ணிக்கையும் நீளமும் சரட்டின் பிகுவுக்குத் தக்கவாறு மாறுதலடையும். பிகு மாறாதிருந்தால் இவை கவட்டினது அடுக்கத்தைச் சார்ந்து மாறுதலடையும். இங்கே கவடு தனது அடுக்கத்தையே கொண்டதொரு அலைத்தொடரைச் சரட்டிலே தோற்றுவிக்கிறது. இவ்வலைத்தொடர் சகடையின்மீதுள்ள அசையாத முனையை அடைந்து, பிரதிபலித்து மீண்டு வர, முன்னேறும் அலையும் மீண்டுவரும் அலையும் ஒன்றன்மீதொன்று படிந்து நிலையான அலையமைப்பைத் தோற்றுவிக்கின்றன ஒவ்வொரு கண்டத்திலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் இசைக்கவட்டினது அடுக்கத்தையே தனது அடுக்கமாகக்கொண்டு துடிக்கின்றது.

நிலையான அலைகளின் இயல்புகள்

(1) சரட்டிலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் எளிய இசை இயக்கத்தை மேற்கொண்டிருக்கிறது.

(2) துடிப்பின் வீச்சு இடத்துக்கிடம் மாறுபடுகிறது. முடிகளில் வீச்சு சூனியமாகவும், எதிர் முடிகளில் வீச்சு உச்ச அளவினதாயும் இருக்கிறது. அடுத்தடுத்துள்ள முடிகளின் இடைத்தூரம் அலைநீளத்தில் பாதியாகும்.

(3) ஒரே கண்டத்திலுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலும் துடிப்புமுகம் ஒன்றாகவே இருக்கிறது. உதாரணமாக அவை எல்லாம் ஒரே நொடியிலே உச்ச நிலையை அடைகின்றன. அவ்வாறே அவை எல்லாம் ஒரே நொடியிலே ஒரே திசையிலே சமநிலையைக் கடக்கின்றன.

(4) எந்த நொடியிலும் துகள்களின் அமைப்பு ஒரு sine வரையாகவேயிருக்கும். அலையின் அமைப்பு

மாறுவதும் இல்லை; அலை முன்னேறிச் செல்வதும் இல்லை. ஆனால் அதன் வீச்சு மட்டும் மாறிவருகிறது.

கடைசி மூன்று அம்சங்களிலும் நிலையான அலைகளும் முன்னேறும் அலைகளும் வேறுபடுகின்றன. முன்னேறும் அலையிலே எல்லாப் புள்ளிகளிலும் வீச்சு சமமாகும். ஆனால் முகமோ ஒரே நொடியில் இடத்துக்கிடம் வேறுபடும். மற்றும், முன்னேறும் அலைகளிலே துகள்களின் நிலை எப்போதும் ஒரே sine வரையினால் குறிக்கப்படும். நிலையான அலைகளிலோ இந்த sine வரையின் தன்மை நொடிக்கு நொடி வேறுபடுகிறது. முன்னேறும் அலைகளிலோ ஒருபோதும் எல்லாத் துகள்களும் ஒரே நேர் கோட்டில் நிற்க இயலாது. நிலையான அலைகளில் இது நேரும்.

அத்தியாயம் 3

இசையொலிகள் (Musical sounds)

ஒலிகளைத் தொடர்ந்தன (continuous) என்றும், விட்டிசைப்பன (discontinuous) என்றும் இரண்டு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். ஒலியை உண்டாக்கும் பொருள் தொடர்ந்து துடித்துக்கொண்டிருந்தால் தொடர்ந்திசைக்கும் ஒலி தோன்றும். இவ்வாறல்லாமல் ஒரு அடியினால் அல்லது வெடித்தலினால் திடீரென ஒரு துடிப்புத் தோன்றி மறைந்தால் இதனால் விட்டிசைக்கும் ஒலி தோன்றும்.

தொடர்ந்திசைக்கும் ஒலிகளைச் சப்தங்கள் என்றும் இசையொலிகள் என்றும் இரண்டு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். இவையிரண்டையும் தனித்தனியே வேறுபடுத்துவது எளிதல்ல. இசையொலிகள் எல்லாம் மிருதுவாகவும் காதுக்கு இனிமையாகவும் இருக்கும். சப்தங்களோ ஒழுங்கற்றனவாய்க் காதைப் புண்படுத்துவனவாய் இருக்கும். இசையொலிகள் ஒழுங்கானவை என்று கூறினால், அவற்றின் துடிப்பு எளியதாயும், வரையறுத்த அடுக்கத்தையுடையதாயும் இருக்குமென்பதே பொருள். சப்தத்திலே துடிப்புகள் ஒழுங்கற்றனவாய் மிகச் சிக்கலாய் இருக்கின்றன. இசையொலிக்கு (1) சுருதி (pitch) (2) முழக்கம் (intensity) (3) பண்பு (quality) என்று மூன்று அம்சங்களுண்டு.

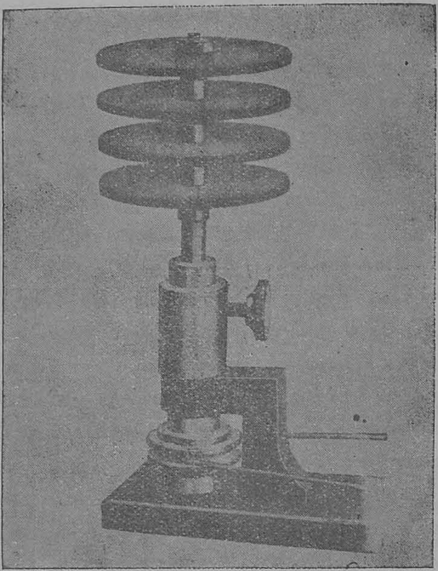
சுருதி :—சுருதி என்பது ஒலியின் துடிப்பு வேகத்தைச் சார்ந்தது. துடிப்பு அதிகமானால் சுருதியும் உயரும் ; துடிப்புக் குறைந்தால் சுருதி தாழ்ந்துவிடும். எனவே சுருதியென்பது ஒரு செகண்டிலே ஒலியியற்றும் துடிப்புகளின் எண்ணிக்கையைக் காட்டும். இதுவே

ஒலியின் 'அடுக்கம்' ஆகும். சுருதி ஒலியின் அடுக்கத்தைச் சார்ந்தது என்பதைப் பலவேறு பரிசோதனைகளால் காட்டலாம். நாம் அவற்றிலே ஒன்றிரண்டு பரிசோதனைகளை மட்டும் எடுத்துக்கொள்வோம்.

பல் சக்கரம் :—இதிலே ஒரு பல்சக்கரம் நன்றாகச் சுழலும்படியாக ஒரு இருசின்மீது ஏற்றப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு மெல்லிய கெட்டி காகிதத்தின் ஓரத்தைச் சக்கரத்தின் பற்களின்மீது படும்படியாகப் பிடித்துக் கொண்டு, சக்கரத்தை முதலில் மெதுவாகச் சுற்றவும். முதலில் தட்டுத்தட்டென்று ஒலிகள் விட்டிசைத்துக் கொஞ்சம் வேகத்தை அதிகரித்தால், இவ்வொலிகள் ஒன்றுசேர்ந்து, ஒரு ஸ்வரமாகக் காதிலே படும். வேகத்தைப் பின்னும் அதிகரித்தால் இவ்வொலியின் சுருதி அதிகரிப்பதைக் காணலாம். விட்டிசைக்கும் ஒலிகள் ஒன்றுசேர்ந்து சுருதி போன்று ஒலிக்கவேண்டுமானல், அவை செகண்டிற்கு 30 துடிப்புக்கு மேலாக ஒலிக்கவேண்டும். சக்கரம் சுழலும் வேகம் நமக்குத் தெரிந்திருந்தால், அதன் பற்களிலே படும்படியாகப் பிடிக்கப்பட்ட காகிதத்தின் துடிப்பு அடுக்கத்தை எளிதிலே கணக்கிட்டுவிடலாம். சக்கரத்திலே N பற்கள் இருப்பதாகவும், சக்கரம் செகண்டுக்கு n முறை சுற்றுவதாகவும் கொண்டால், காகிதத்தின் துடிப்பு அடுக்கம், அதாவது ஒலியின் அடுக்கம் n N ஆகும்.

பின்னும் சில கருவிகளிலே (படம் 337) மூன்று அல்லது நான்கு பற்சக்கரங்கள் ஒரே இருசின்மீது ஏற்றப்பட்டிருக்கும். அவற்றின் ஆரங்களெல்லாம் சமமாக இருக்கும். ஆனல் பற்களின் எண்ணிக்கைமட்டும் சக்கரத்திற்குச் சக்கரம் வேறுபடும். இவற்றை வேகமாகச் சுற்றிக்கொண்டு, ஒரு கெட்டிக்காகிதத்தின் ஓரத்தைக் குறைந்த பற்களுள்ள சக்கரத்தின்மீது மோதும்படி

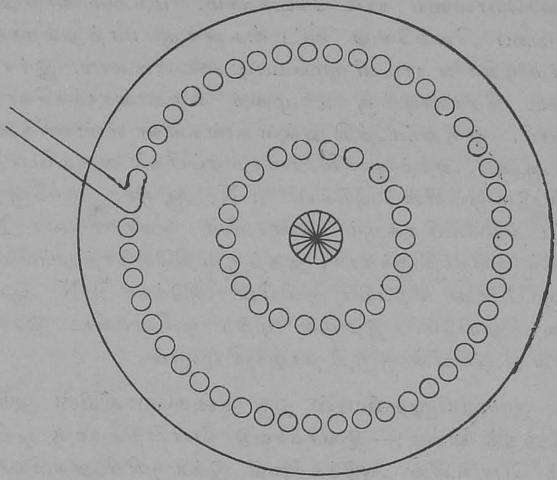
பிடித்து, அதன் சுருதியைக் குறித்துக்கொள்ளவும். இப்போது காகிதத்தின் ஓரத்தை அடுத்த சக்கரத்தின்



படம் 337

பற்களிலே படும்படி பிடிக்கவும். சக்கரங்கள் சுழலும் வேகம் மட்டும் மாருதிருக்கவேண்டும். இதிலுண்டாகும் ஒலியின் சுருதி சற்றே உயர்ந்திருப்பதைக் காணலாம். காகிதத்தை அதிகமான பற்களுள்ள சக்கரத்திலே படும்படி பிடித்தால் ஒலியின் சுருதி பின்னும் உயர்ந்திருப்பதைக் காணலாம். எனவே துடிப்பின் அடுக்கம் அதிகமானல் சுருதி உயருகிறது என்று தெரிந்துகொள்ளலாம்.

2. சல்லடைத் தாரை (Disc siren) :—(படம் 338). இதில் ஒரு உலோகத்தாலான தட்டு இருக்கிறது. இத்தட்டிலே பொது மையங்கொண்ட வட்டங்



படம் 338

களின் பரிதிகளிலே பல துவாரங்கள் இருக்கின்றன. இது வேகமாகச் சுற்றும்படியாக ஒரு இருசின்மீது ஏற்றப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு துருத்தியிலிருந்து வரும் ரப்பர்க் குழாயின் நுனியிலே ஒரு கண்ணாடிக் குழாயைச் செருகி, இக்கண்ணாடிக்குழாயின் வழியாக வரும் காற்றுப் பீறலை இத்தட்டின்மீது செலுத்தவும். தட்டு சுற்றிக்கொண்டேயிருந்தால் இக்காற்று சல்லடையிலுள்ள துவாரங்கள் வழியாகக் குப், குப் என்று வெளிப்படும். செகண்டிற்கு 30 தரத்திற்கு மேல் இவ்வித குப் குப் என்னும் ஒலிகள் ஏற்பட்டால், அவையெல்லாம் ஒன்றுகூடி ஒரு ஸ்வரத்தை எழுப்பும். இவ்வொலியின் சுருதி, சல்லடை சுழலும் வேகத்தையும் ஒவ்வொரு

வட்டத்திலுள்ள கண்களின் எண்ணிக்கையையும் சார்ந்திருக்கும். இச்சல்லடையை ஒரு மின்சார மோட்டாரின் உதவியால் சீராக ஓடச்செய்தால், இனிமையான இசையொலியை நாம் கேட்கலாம். மற்றும் காற்றுத் தாம்பை வெவ்வேறு வட்டங்களுக்கு மாற்றுவதால், இச்சுருதிகளை நாம் விரும்பியபடி கையாளலாம். இச்சல்லடை செகண்டிற்கு n முறை சுழலுவதாகக்கொள்வோம். ஒரு வட்டத்திலுள்ள கண்களின் எண்ணிக்கை N_1 ஆனால், அதற்கு எதிரே காற்றுப்பீறல் வரும்போது ஏற்படும் ஒலியின் அடுக்கம் $n N_1$ ஆகும். மற்றொரு வட்டத்திலேயிருக்கும் கண்களின் எண்ணிக்கை N_2 ஆகக் குறைந்திருந்தால், அதற்கு எதிரே காற்றுப்பீறல் வரும்போது ஏற்படும் ஒலியின் அடுக்கம் $n N_2$ ஆகக் குறைந்துவிடும். இதனால் முதல் ஒலியைவிட இரண்டாவது ஒலியின் சுருதி தாழ்ந்திருக்கும்.

தாரையினுதவியால் ஒரு இசையோலியின் அடுக்கத்தைக் காண :—இசைக்கவடு போன்றதொரு ஒலிக்கும் பொருளின் அடுக்கத்தை இக்கருவியினுதவியால் எளிதிலே கண்டுவிடலாம். சல்லடைத் தாரையைச் சுற்றவிட்டு, அதிலுள்ள கண்வரிசைகளில் ஒன்றின் எதிரே காற்றுத் தாம்பைப் பிடித்துத் துருத்தியால் ஊதவும். இதே சமயத்தில் இசைக்கவட்டையும் தட்டிவிட்டு அதன் ஒலியையும் எழுப்பவும். இரண்டு ஒலிகளையும் ஒன்றாகக் கேட்டால் எது உயர்ந்திருக்கிறது, எது தாழ்ந்திருக்கிறது என்பது எளிதிலே விளங்கும். தாரை யொயிலின் சுருதி குறைந்திருந்தால் அது சுற்றும் வேகத்தை அதிகரிக்கவும். அதன் சுருதி உயர்ந்திருந்தால் சுற்றும் வேகத்தைக் குறைத்துவிடவும்.

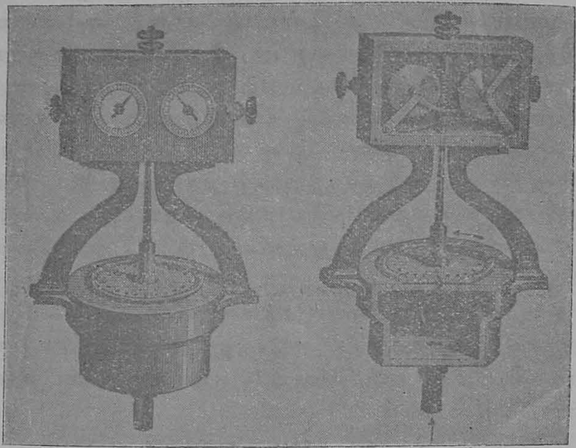
இவ்வாறாகச் சரிப்படுத்தித் தாரையொலியும் கவட்டினொலியும் ஒரே சுருதியிலே ஒவ்வும்படி செய்யவும். இப்போது சல்லடையின் வேகத்தைக் காணவும். அது

செகண்டிற்கு n தடவை சுற்றுவதாகக் கொள்வோம். அது சுற்றுவதை நிறுத்திவிட்டுக் காற்றுப் பீறல் பட்ட வட்டத்திலுள்ள கண்களை எண்ணவும். அவற்றின் எண்ணிக்கை N என்று கண்டால் தாரை யொலியின் அடுக்கம் n N ஆகும். எனவே, இதனோடு ஒத்திருந்த இசைக்கவட்டின் துடிப்பு அடுக்கமும் n N ஆகும். சல்லடையின் வேகத்தைக் கணக்கிடுவதற்காக அதன் ஓரத்தில் சாக்கட்டியால் ஒரு அடையாளம் செய்து, 100 தரம் சுழலுவதற்கு ஆகும் நேரத்தை ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தினுதவியால் கண்டு, ஒரு செகண்டிலே அது எத்தனை தரம் சுழலுகிறதென்பதைக் கணக்கிடலாம். அல்லது சுழற்சி எண்ணுவதற்காக ஏற்பட்ட கருவியைச் சல்லடையின் இருசின்மீது அழுத்திப் பிடித்துக்கொண்டு, அதனுதவியாலும் ஒரு செகண்டிலே அது எத்தனை தரம் சுழலுகிறதென்பதைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

காக்னியார்ட் டிலா டூர் (Cagniard de la Tour) என்பார் இயற்றியதொரு தாரையில் சல்லடையின்மீது மோதிய காற்றுப் பீறலே அதைச் சுழற்றிவிடும்படியாக அமைக்கப்பட்டுள்ளது. காற்றுப் பீறலின் சக்தி அதிகரிக்க, சுழலும் வேகமும் அதிகரித்துச் சுருதியும் உயரும். இதன்மேல் வைக்கப்பட்டுள்ளதொரு வட்டில் தானகவே சுழலும் வேகத்தைக் காட்டும். (படம் 339).

முழக்கம்:—முழக்க உணர்ச்சியின் காரணத்தை மிக எளிதிலே கண்டுவிடலாம். ஒரு இசைக்கவட்டை வேகமாக அடித்தால் ஒலியின் முழக்கம் அதிகமாக இருப்பதையும், மெதுவாக அடித்தால் முழக்கம் குறைவாக இருப்பதையும் நாமறிவோம். ஒலியின் முழக்கம் துடிப்பின் வீச்சைச் சார்ந்திருக்கிறது. இசைக்கவட்டிலிருந்து வெளிப்படும் ஒலியின் சுருதிமட்டும் ஒன்ருகவேயிருக்கும். அதன் முழக்கம் துடிப்பின் வீச்சைச்

சார்ந்திருக்கும். வீச்சு அதிகமானல் முழக்கம் அதிகரிக்கும். மற்றொரு உதாரணத்தை எடுத்துக்கொள்



படம் 339

வோம். ஒரு சுருதிமானியின் (Sonometer) தந்தியை மெதுவாகத் தெறிக்கவும். குறைந்த முழக்கமுடைய ஒரு சுருதி தொனிக்கும். தந்தியைச் சற்று வேகமாகத் தெறிக்கவும். அதே சுருதி அதிக முழக்கத்துடன் தொனிப்பதைக் கேட்கலாம்.

ஒலியின் முழக்கம் அது வெளியிடும் ஆற்றலுக்கு ஏற்பவுள்ளது. ஆனல் ஒரு துடிப்பின் ஆற்றல் அதன் வீச்சினது இருமைக்கு ஏற்றது என்று கணக்கியலால் காணக்கூடும். எனவே, ஒரு ஒலியின் முழக்கம் ஒலித் துடிப்பின் வீச்சினது இருமைக்கு ஏற்பவுள்ளது என்று கொள்ளலாம். ஒரு சுருதிமானியின் தந்தித் துடிப்பினது வீச்சை இருமடங்காக்கினல், அதிலிருந்து வெளிப்படும் ஒலியின் முழக்கம் நான்கு மடங்காகப் பெருகும்.

ஆனால் அதன் சுருதி மாறாது. நமது காதிலே விழும் ஒலியின் முழக்கம், ஒலிக்கும் பொருளுக்கும் நமது காதுக்குமிடைப்பட்ட தூரத்தைச் சார்ந்திருக்கிறது. ஒளியின் பிரகாசம் குறைவதைப் போன்றே ஒலியின் முழக்கமும் தூரத்தின் இருமைக்கு எதிர்விகிதமாகக் குறைகிறது.

பண்பு :—ஒரே சுருதியும் முழக்கமும் கொண்ட பல ஒலிகள் பலவேறு கருவிகளிலிருந்து தோன்றும் போது, அவற்றை வேறுபடுத்தி அறிவதற்குக் காரணமாய் இருக்கும் ஒலியின் சிறப்பியல்புகளே அவற்றின் பண்பு எனப்படும். புல்லாங்குழலின் ஓசையும், யாழின் ஓசையும் ஒரே சுருதியைக் கொண்டிருந்தாலும், அவற்றின் பண்பு வேறுபடுகின்றன. மனிதனுடைய குரலின் பண்பு இவையிரண்டினின்றும் வேறுபடுகிறது. ஸ்வரத்தின் பண்பு துடிப்பினது சிக்கலைச் சார்ந்திருக்கிறது எனக் கண்டிருக்கிறார்கள். இரண்டு துடிப்புகளின் அடுக்கங்கள் ஒத்திருந்தாலும் அவற்றின் சிக்கல்கள் வேறுபடலாம். இச்சிக்கல்களெல்லாம் இசைக்கருவியின் தன்மையைப் பெரும்பாலும் சார்ந்தனவாகும். 'ஒரே சுருதியைக் கொண்ட ஒலிகள் ஒரே அடுக்கத்தையும் கொண்டனவாகும்' என்று சொல்லுவது முற்றும் உண்மையாகாது. ஒரே அடுக்கம் என்று கூறும் போது 'ஒரே பிரதான அடுக்கம்' (fundamental frequency) என்றே கொள்ளவேண்டும். பரிவாரச் சுருதிகள் (overtones) சூழப்பெறாத தூயஸ்வரங்கள் மிகச் சிலவேயாகும். பிடிலிலிருந்து வெளிப்படும் ஒரு ஸ்வரத்திலே, ஒரு பிரதான அடுக்கத்தோடு பலவேறு பரிவாரச் சுருதிகளும் கலந்தேயிருப்பதால் அது தூய தன்மை வாய்ந்ததல்ல. இந்தப் பரிவாரச் சுருதிகள் சூழ்ந்திருப்பதைக் கொண்டே ஒரு ஸ்வரத்தின் பண்பு நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. இப்பண்பு துடிப்பினது அலை

யமைப்பினாலும் காட்டப்படும். ஒரு இசைக்கவட்டி யினின்று வெளிப்படும் ஸ்வரமே சிக்கல் இல்லாத மிக எளிய ஒலியாகும். இதன் அலையமைப்பு ஒரு sine வரையாகும். சிக்கலான மற்ற ஸ்வரங்களின் அலை யமைப்பு சிக்கலாகவே இருக்கும். அலையமைப்பைப் பாகுபாடு செய்தால் ஸ்வரத்திலே கலந்துள்ள பரிவாரச் சுருதிகளையும், அவை ஒவ்வொன்றின் உறைப்பையும் அறியலாம்.

இசையியல் இடைகள் (Musical intervals):— இரண்டு ஸ்வரங்களின் சுருதிகளைக் கண்டு அவற்றின் தகவைக் கணக்கிட்டால், அத்தகவு அவ்விரண்டு ஸ்வ ரங்களின் 'இடை' எனப்படும். இரண்டு ஸ்வரங்களை எடுத்துக்கொண்டால் அவற்றின் அடுக்கங்கள் எவ்வா றாயினும் அவற்றின் 'இடையை' மட்டும் காதினால் கேட்டறிந்துவிடுதல் கூடும். பொதுவாக வழங்கப்படும் இடைகள் ஒவ்வொன்றுக்கும் ஒவ்வொரு பெயர் உண்டு. அவற்றுள் சிலவற்றை அடுக்கவேற்றுமைகளுடன் காண லாம்.

எட்டாவது அல்லது ஒரு ஸ்தாயி	2 : 1
ஐந்தாவது	3 : 2
நான்காவது	4 : 3
மூன்றாவது மூத்தது	5 : 4
மூன்றாவது இளையது	6 : 5

இரண்டு இடைக்களுக்குரிய அடுக்கத் தகவுகளின் பெருக்குத் தொகை இடைகளின் கூட்டுத்தொகை எனப்படும். இதன்படி மூன்று ஸ்வரங்களின் அடுக்கங் கள் முறையே $p\ q\ r$ ஆனால், $\frac{q}{p}$ என்பது இரண்டாவ தற்கும் முதலதற்கும் உள்ள இடை எனப்படும். $\frac{r}{q}$ என் பது மூன்றாவதற்கும் இரண்டாவதற்கும் உள்ள இடை

எனப்படும். இதனால் மூன்றாவதற்கும் முதலதற்கு முள்ள இடை, $\frac{q}{p}$, $\frac{r}{q}$ என்பவற்றின் பெருக்குத்தொகை யாகும். இது $\frac{r}{p}$ க்குச் சமம். $\frac{3}{2} \times \frac{4}{3} = 2$ ஆகையால் நான்காவதும் ஐந்தாவதும் கூட்டினால் ஒரு ஸ்தாயி ஆகும்.

ஸ்வரக்ரமங்கள் (musical scales) :—ஸ்வரக்ரமம் என்பது எளிய பின்னங்களாலான இடைகளைக் கொண்டதொரு ஸ்வரக் கூட்டமாகும். ஒரு ஸ்வரக்ரமத்திலுள்ள பலவேறு ஸ்வரங்கள், ஒரு ஆதார ஸ்வரத்தோடு எளிய பின்னங்களாகிய அடுக்கத் தகவுகளால் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். இந்த ஆதார ஸ்வரமே ஆதார ஷட்ஜமெனப்படும். இந்த ஸ்வரத்தை யடிப்படையாகக்கொண்டே ஸ்வரக்ரமங்கள் அமைக்கப்படுகின்றன. எந்த ஸ்வரத்தை ஆதார ஷட்ஜமாகக்கொண்டும் ஒரு ஸ்வரக்ரமத்தை இயற்றலாம். ஆங்கிலேய ஸங்கீதத்திலே இரண்டு வகையான * ஸ்வரக்ரமங்கள் உண்டு. அவற்றில் மூத்தது ஒன்றும் இளையது ஒன்றுமாகும். 264ஐ ஆதார ஷட்ஜமாகக்கொண்டு இயற்றப்பட்ட மூத்த ஸ்வரக்ரமம் வருமாறு :—

ஸ்வரங்கள்	ஸ C	ரி D	க E	ம F	ப G	த A	நி B	ஸ் C′
அடுக்கங்கள்	264	297	330	352	396	440	496	528
ஷட்ஜத்துக்குரிய இடை	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	$\frac{2}{1}$

கேள்வி வரம்புகள் (Limits of audition) :— பொதுவாகத் துடிக்கும் பொருள்களெல்லாம் ஒலியை

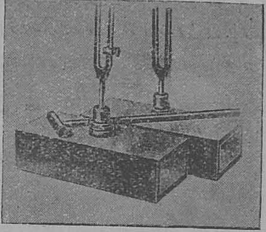
* இவற்றை பற்றிய மற்ற விபரங்கள் இந்நூல் முதல் ஆசிரியரின் "ஸங்கீத ஒலி நூல்" என்னும் புத்தகத்தில் காணலாம்.

வெளியிடுவனவாயினும், அத்துடிப்பின் அடுக்கம் வரம்புக்குட்பட்டிருந்தால் மட்டுமே நமது காதுக்குப் புலனுகும். துடிப்பின் அடுக்கம் 30-க்குக் குறைந்தால் அவை ஒரு ஸ்வரமாகச் சேர்வதில்லை. அவை காதுக்கும் புலனுவதில்லை. எனவே இந்த அடுக்கமே கேள்விக்குத் தாழ்ந்த வரம்பாகும். துடிப்பின் வேகம் மிதமிஞ்சிப் போய்விட்டால் காதிலே அவை புலனுவதில்லை. உயர்ந்த ஸ்வரங்களைக் கேட்கும் சக்தி வயதைப் பொறுத்தது. முதுமை வரவர உயர்ந்த ஸ்வரங்களைக் கேட்கமுடிவதில்லை. சிறு குழந்தைகள் செகண்டுக்கு 20,000 துடிப்புகள் கொண்ட ஸ்வரங்களைக் கேட்கக்கூடும். வயதானவர்கள் 15,000-க்கு மேற்பட்ட அடுக்கங்களைக் கொண்ட ஸ்வரங்களைக் கேட்கமுடிவதில்லை. இவையே கேள்வியின் உயர் வரம்பாகும்.

விம்மல் (Beats) :—ஒரே அடுக்கத்தையுடைய இரண்டு ஸ்வரங்களை ஏக காலத்தில் மீட்டினல், அவையிரண்டும் ஒன்றுகூடி ஒரே ஸ்வரம் போலக் காதுக்குப் புலனுகும். இந்த இரண்டு ஸ்வரங்களையும் தனித் தனியே கண்டறிதல் முடியாது. இப்போது இவ்விரண்டு ஸ்வரங்களும் ஒன்றி நிற்பதாகக் கூறப்படும். ஆனல் ஒன்றுக்கொன்று மிக நெருங்கிய அடுக்கங்களைக் கொண்ட இரண்டு ஸ்வரங்களை மீட்டினல், ஒலியின் முழக்கம் மாறி மாறி உயர்ந்து குறைவதைக் கேட்கலாம். ஒரு நொடியில் முழக்கம் உச்சநிலையை அடையும். சிறிது நேரம் கழித்து முழக்கம் நீசநிலையை அடையும். இந்த மாறுபாடுகள் கிரமமான இடை நேரங்களில் நிகழும். இவ்வாறு ஒலியின் முழக்கம் மாறி மாறிப் பொங்கி வடிதலையே 'விம்மல்' என்பார்கள். நெருங்கிய அடுக்கங்களைக் கொண்ட இரண்டு ஸ்வரங்கள் ஏக காலத்தில் மீட்டும்போது ஏற்படும் விம்மலின் அடுக்கம், அந்த இரண்டு ஸ்வரங்களின் அடுக்க

வேற்றுமைக்குச் சமமாகும். இரண்டு ஸ்வரங்களின் அடுக்கங்கள் முறையே N_1, N_2 என்று கொண்டால், $n = N_1 - N_2$ என்பதே அவ்விரண்டு ஸ்வரங்களும் ஏக காலத்தில் மீட்கப்பட்டபோது ஒரு செகண்டிலே ஏற்படும் விம்மலின் எண்ணிக்கையாகும். விம்மல் உண்டாவதைக் காட்டுமொரு பரிசோதனை வருமாறு:—

ஒரே சுருதியைக்கொண்ட இரண்டு கவடுகளைப் பெட்டிமீது ஏற்றிவைக்கவும். (படம் 340). ஒரு சிறு உலோகத் துண்டை ஒரு இசைக்கவட்டின் ஒரு கிளையோடு பொருத்தினால் அந்த இசைக்கவட்டின் சுருதி சற்றே குறைந்துவிடும். இப்போது இரண்டு இசைக்கவடுகளையும் தட்டி ஒலிக்கச் செய்தால் விம்மலை நன்றாகக் காதினால் கேட்கலாம். ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தைக்கொண்டு, ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஏற்படும் விம்மலை எண்ணி, அவற்றின் அடுக்கத்தைக் கணக்கிடவும். உலோகத் துண்டை இசைக்கவட்டின் கிளையின்மீது வெவ்வேறு இடங்களில் பொருத்திவைத்து, அவ்வப்போதும் நிகழும் விம்மலை கண்டு அவற்றின் அடுக்கங்களைக் கணக்கிடவும். விம்மல் மிகவும் மெதுவாக நிகழ்ந்தால் அவற்றை எண்ணுவது கடினம். மற்றும் அவை செகண்டுக்கு நான்கைந்து வீதம் விரைந்து நிகழ்ந்தாலும் அவற்றை எண்ணுவது கடினமேயாகும். விம்மல் எண்ணமுடியாதபடி அவை விரைந்து நிகழ்ந்தால் 'பிணக்கம்' (Discord) என்னும் நிகழ்ச்சி தோன்றும்.



படம் 340

உதாரணம் 1. A, B என்ற இசைக்கவடுகளை ஏக காலத்தில் இயக்க, செகண்டுக்கு 5 விம்மல் உண்டா

யிற்று. A-யின் ஒரு கொம்பின்மீது சிறிது மெழுகை ஒட்டிவிடச் செகண்டுக்கு 3 விம்மலே யுண்டாயிற்று. B-யின் அடுக்கம் 256. A-யின் அடுக்கம் யாது?

இரண்டு கவடுகளின் அடுக்கவேற்றுமை = விம்மலின் அடுக்கம். $B \backsim A = 5$.

ஆகையால் $A = B \pm 5 = 256 \pm 5$.

ஒரு கவட்டின் கிளையோடு சிறிது மெழுகை ஒட்டுவதால் அதன் அடுக்கம் குறையும்.

மெழுகை ஒட்டிய பிறகு A-யின் அடுக்கம் குறைந்து அது B-யின் அடுக்கத்தை அணுகியதால் 3 விம்மலே ஏற்பட்டன. எனவே A-யின் அடுக்கம் B-யின் அடுக்கத்தைவிட அதிகமென்றே தெரிகிறது.

ஆகையால் $A = 256 + 5 = 261$

எனவே A-யின் அடுக்கம் 261

வினாக்கள்

1. உதாரணங்களைக்கொண்டு (*a*) சுருதி, (*b*) முழக்கம், (*c*) ஒலியின் இயல்பு என்னும் பதங்களின் சரியான பொருளை நன்றாக விளக்குக.

(காசி : 1933)

2. ஒலி அலைகளுக்குரிய அளவிடக்கூடிய இராசிகளைக்கொண்டு 'ஸ்வரத்தின் சுருதி', 'ஸ்வரத்தின் முழக்கம்' என்னும் பதங்களுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு இசைக்கவட்டின் சுருதியை நிர்ணயிப்பதற்கானதொரு பரிசோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

(சென்னை : செப். 1926)

3. பின்வருவனவற்றை விளக்குக :—அலைநீளம் ; அடுக்கம் ; வீச்சு ; (ஒலியலைகளைப்பற்றின வரையில்).

ஒலியின் பிரதிபலனத்தைக் காட்டுமொரு ஆய்வு-சாலைப் பரிசோதனையை விவரித்துரைக்கவும்.

(சென்னை : செப். 1927)

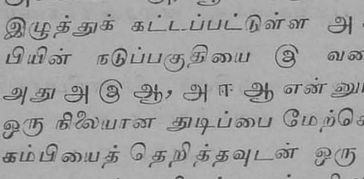
4. 'விம்மல்' என்னும் நிகழ்ச்சி எவ்வாறு தோன்றுகின்றது என்று விவரமாக விளக்கி எழுதுக. இவற்றைக்கொண்டு இசைக்கவட்டின் சுருதியை எவ்வாறு நிர்ணயிக்கலாம் ?

(ஆக்ஸ் : 1926)

அத்தியாயம் 4

தந்திகளின் குறுக்குத் துடிப்பு
(Transverse vibration of strings)

இழுத்துக் கட்டப்பட்டதோரு தந்தியின் துடிப்பு அடுக்கம் :—அ, ஆ என்னுமிரண்டிடங்களுக்கிடையே இழுத்துக் கட்டப்பட்டுள்ள அ ஆ என்னுமொரு கம்பியின் நடுப்பகுதியை இ வரை இழுத்துவிட்டால், அது அ இ ஆ, அ ஈ ஆ என்னும் வரைகளுக்கிடையே, ஒரு நிலையான துடிப்பை மேற்கொள்ளுகிறது. இந்தக் கம்பியைத் தெறித்தவுடன் ஒரு அலையேற்பட்டு, அது அ, ஆ என்னுமிரண்டிடங்களிலும் மாறி மாறிப் பிரதிபலிக்கப்பட்டு ஓடும். இவ்வாறு மோதும் அலையும் மீளும் அலையும் ஒன்றின்மேலொன்று படிவதனால் நிலையான அலையமைப்பு ஏற்படுகிறது. நாம் முன்பே கண்ட நிலையான அலைகளின் சிறப்பியல்புகளைக்கொண்டு இப்போது இக்கம்பி ஒரே கண்டமாகத் துடிக்கிறதென்றும், அ, ஆ என்பன அதன் முடிகளாகுமென்றும் தெரிந்துகொள்ளலாம். (படம் 341). இவ்வாறு துடிக்கும்போது, இக்கம்பி தனது ஆதாரத் துடிப்பியக்கத்தை மேற்கொண்டிருப்பதாகக் கூறப்படும்.



படம் 341

தெறிக்கப்பட்டவுடன் இது ஒரு வரையறுத்த மாறாததொரு சுருதியைக்கொண்ட ஸ்வரத்தை வெளியிடும். துடிப்பின் வீச்சு குறையக் குறைய ஒலியின் முழக்கமும்

குறைந்துவரும். ஆனால் அதன் சுருதிமட்டும் மாருது ஒரே நீர்மையதாய் இருக்கும். இறுதியில் ஒலியின் முழக்கம் குன்றி மறைந்துவிடும். இழுத்துக் கட்டப்பட்டுள்ள இந்தத் தந்தியின் அடுக்கத்தை நிர்ணயிக்கும் ஏதுக்களை நாம் இப்போது காணவேண்டும்.

T என்பது தந்தியிலுள்ள பிகு என்றும், m என்பது அலகுநீளம் கொண்ட தந்தியின் நிறையென்றும் கொண்டால், அத்தந்தியில் செல்லும் குறுக்கலையின் வேகம் $v = \sqrt{\frac{T}{m}}$ என்று கணக்கியலின் உதவியால் காட்டலாகும். $v = n\lambda$ என்பதை நாமறிவோம். இதில் n என்பது அடுக்கம். λ என்பது அலைநீளம். ஒரு தந்தி தனது ஆதார அல்லது பிரதானத் துடிப்பியக்கத்தை மேற்கொண்டிருந்தால் அதன் நீளம் அடுத்துள்ள இரண்டு முடிகளிடைப்பட்ட தூரமாகும். எனவே தந்தியின் நீளமாகிய $l = \frac{\lambda}{2}$ ஆகும்.

$v = \sqrt{\frac{T}{m}}$; $v = n\lambda$ என்னும் சமீகரணங்களினின்று $n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}}$ என்று பெறப்படும். இதிலே $l = \frac{\lambda}{2}$ என்ற உறவை ஈடிடவே, $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ என்று கிடைக்கும். தந்தி தனது பிரதானத் துடிப்பியக்கத்தை மேற்கொண்டிருக்கும்போது அதன் அடுக்கத்தை இந்த உறவு காட்டுகிறது. இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட கண்டங்களாகத் துடித்தாலும் இந்த வாய்பாடே செல்லும். ஆனால் அவற்றிலெல்லாம் l என்பது கம்பியின் நீளமென்று கொள்ளமுடியாது. அது அடுத்துள்ள இரண்டு முடிகளின் இடைத்தூரம் அல்லது ஒரு துடிக்கும் கண்டத்தின் நீளம் என்று கொள்ளவேண்டும்.

தந்திகளிலேற்படும் குறுக்குத் துடிப்புகளின் விதிகள் :—(1) கம்பியின் நீளம், (2) அதன் பிகு, (3) அலகு நீளக் கம்பியின் நிறை என்ற மூன்று இராசிகளுக்கும், துடிக்கும் தந்தியின் அடுக்கத்திற்கும் இடைப்பட்ட மூன்று தனித்தனி உறவுகளை $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ என்னும் விதி காட்டுகிறது. இந்த உறவுகளே தந்தித் துடிப்பின் விதிகள் எனப்படும்.

விதி I. ஒரு தந்தியின் பிகு மாறுதிருந்தால் அதன் துடிப்பு-அடுக்கம் அதன் நீளத்திற்கு எதிர் விகிதமாக விருக்கும்.

T, m என்பவை மாறிலிகளானல் n, $\frac{1}{l}$ க்கு ஏற்ப வுள்ளது என்று கணக்கியல் சங்கேதப்படி கூறுவது வழக்கம்.

விதி II. ஒரு கம்பியின் நீளம் மாறுதிருந்தால் அதன் துடிப்பு-அடுக்கம் பிகுவின் வருக்க மூலத்திற்கு ஏற்ப இருக்கும்.

l, m என்பன மாறிலிகளானல் n, $\sqrt{T}$ க்கு ஏற்ப வுள்ளது என்று கூறலாம்.

விதி III. தந்திகளின் நீளங்களும் பிகுக்களும் சமமானல், அவற்றின் துடிப்பு அடுக்கங்கள் அவற்றின் அலகு நீளங்களின் நிறைகளுக்கு வருக்க மூல எதிர் விகிதமாக விருக்கும்.

l, T என்பன மாறிலிகளானல், n, $\frac{1}{\sqrt{m}}$ க்குப் ஏற்ப வுள்ளது என்று இதை எடுத்துக் கூறலாம்.

தந்தி வட்டமான வெட்டுவாயை உடையதானல் மூன்றுவது விதியை இரண்டு தனித்தனி உறவுகளாகப் பிரித்துவிடலாம். ஏனெனில் $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$. மற்றும்

$m = \pi r^2 d$. இதில் r என்பது வெட்டுவாயின் ஆரம் ; d என்பது கம்பி செய்யப்பட்டுள்ள பொருளின் செறிவு.

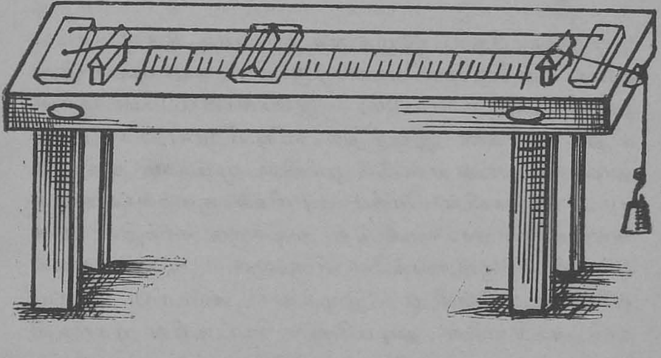
ஆகையால் $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{\pi r^2 d}} = \frac{1}{2lr}\sqrt{\frac{T}{\pi d}}$

இதனால் இரண்டு உறவுகள் கிடைக்கின்றன.

(1) T, l, d என்பன மாறிலிகளானால் n என்பது $\frac{1}{r}$ க்கு ஏற்ப இருக்கும். மற்றும்,

(2) T, l, r என்பன மாறிலிகளானால், n என்பது $\frac{1}{\sqrt{d}}$ க்கு ஏற்ப இருக்கும்.

சுருதிமானி (Sonometer) :—(படம் 342) சுருதிமானி என்னும் கருவியினுதவியால் மேலே கண்ட விதிகளை நாம் சரிப்பார்க்கலாம். இதிலே ஒரு உறுதியான



படம் 342

சட்டகத்தின்மீது இரண்டு நிலையான 'குதிரைகள்' (bridges) இருக்கின்றன. இவற்றின்மீது தந்திகளை இழுத்துக் கட்டலாம். இதில் ஒரு தந்தியின் இருபுறங்களும் இழுத்துக் கட்டப்பட்டு இருக்கும். இது கட்டப்

பட்டுள்ள முளையைத் திருகுவதால் இத்தந்தியின் பிகுவை வேண்டியவாறு மாற்றிக்கொள்ளலாம். மற்றொரு கம்பியின் ஒரு முனைமட்டும் ஒரு முளையோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும். அக்கம்பியை நிலையான இரண்டு குதிரைகளின்மீதும் படும்படியாக இழுத்து, அதன் மற்றொரு முனை சட்டகத்தின் ஓரத்தில் பொருத்தப்பட்டுள்ள நிலைப்புச் சகடையின்மீது கொண்டுவரப் படும். இதன் நுனியில் ஒரு தராசுத் தட்டு கட்டித் தொங்கும். இந்தத் தட்டிலே வேண்டிய எடைகளை யிட்டு, இந்த இரண்டாவது கம்பியின் பிகுவை நாம் விரும்பியவாறு மாற்றிக்கொள்ளலாம். ஒவ்வொரு தந்திக்கும் அடியில் ஒரு இயங்கும் குதிரை வைக்கப்பட்டிருக்கும். இதன் நிலையைத் தக்கவாறு சரிப்படுத்தித் தந்திகளின் துடிக்கும் பகுதியின் நீளத்தை நாம் விரும்பியவாறு மாற்றிக்கொள்ளலாம்.

இக்கம்பிகள் இழுத்துக் கட்டப்பட்டுள்ள சட்டகமோ உள்ளே காலியான ஒரு பெட்டியாகும். இது ஒலிப்பெட்டி எனப்படும். இவ்வொலிப் பெட்டியின் மீது கம்பிகளை இழுத்துக் கட்டியிருப்பதால் அவை துடிக்கும்போது ஏற்படும் ஒலியின் முழக்கம் அதிகரிக்கும். கம்பிகளின் மேற்பரப்பு மிகக் குறைவாகையால் அவற்றினுல் தாக்கப்பட்டுத் துடிக்கும் காற்றின் அளவும் மிகக் குறைவாகவே யிருக்கும். ஆனல் அவை ஒலிப்பெட்டியின்மீது இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருப்பதால், தந்திகளின் துடிப்பினுல் பெட்டியின் முகங்களிலும் துடிப்பு ஏற்படுகிறது. இம்முகங்களின் பரப்பு விரிவானதாகையால், அவை தமக்கு உள்ளும் புறமும் நிறைந்துள்ள காற்றின் பெரும் பகுதியின்மீது தாக்கி அவற்றைத் துடிப்பிக்கின்றன. இதனுல் பெருமுழக்கத்தோடு கூடிய ஒலி எழுகிறது. ஒற்றைத் தந்தி (monochord) யென்ற கருவியும் இதைப்போன்றதுதான்.

விதிகளைச் சரிபார்த்தல்

(1) T, *m* என்பன மாறுதிருக்க *n*, $\frac{1}{l}$ க்கு ஏற்றவாறு மாறுகிறது.

சுருதிமானியின் தந்தியில் பிகுவை உண்டாக்கவும். மூளையைத் திருகியாவது அல்லது தட்டிலே எடைகளையிட்டாவது இவ்வாறு செய்யலாம். அதைமெதுவாகத் தெறித்தால் இசையொலி யொன்று கேட்குமாறு இந்தப் பிகு இருக்கவேண்டும். பலவேறு அடுக்கங்களைக் கொண்ட பல இசைக்கவடுகளை எடுத்துக்கொள்ளவும். n_1 என்ற அடுக்கம் கொண்டதொரு கவட்டைத் தட்டிவிட்டு அதே சமயத்தில் தந்தியையும் தெறித்து, இரண்டு ஸ்வரங்களும் ஒன்றுபடுகின்றனவா என்று கவனிக்கவும். இயங்கும் குதிரையின் நிலையைச் சரிப்படுத்தி சுருதிமானித் தந்தியின் ஸ்வரம் இசைக்கவட்டின் ஸ்வரத்தோடு ஒத்திருக்கும்படி செய்யவும். இரண்டு ஸ்வரங்கள் ஒன்றி நிற்கின்றனவா என்பதைச் சங்கீத ஞானமுடையவர்கள் காதினாலேயே கேட்டுச் சொல்லி விடுவார்கள். விம்மலினாலும் இதைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். சுருதிமானியின் அடுக்கமும் இசைக்கவட்டின் அடுக்கமும் நெருங்கியிருந்தால் விம்மலை நன்றாகக் கேட்கலாம். ஒலியடங்கும்போது இந்த விம்மல் மிகவும் தெளிவாகப் புலப்படும். தந்தியின் நீளத்தைச் சரிப்படுத்தி இவ்விம்மல் நீண்டபொழுதுகளை ஏற்கும்படி செய்யவேண்டும். இறுதியில் ஸ்வரங்கள் ஒன்றி நிற்கும்போது விம்மலின் பொழுது மிகவும் நீண்டுபோய் அது புலப்படாமல் மறைந்துபோகும். இதை மற்றொரு எளிய முறையாலும் கண்டுபிடிக்கலாம். (Λ) என்ற வடிவங்கொண்ட சிறு காகிதத் துண்டுகளைக் கத்தரித்தெடுத்து, அவற்றிலொன்றைத் தந்தியினது துடிக்கும் பகுதியின் நடு மையத்திலே கம்பியின்மீது சவாரி செய்

யும்படியாக வைத்து, தந்தியைத் தெறிக்காமல் இசைக் கவட்டை மட்டுமே தட்டிவிட்டு, அதன் காம்பை ஒலிப் பெட்டியின்மீது ஒரு முனையில் வைத்து அழுத்திப் பிடிக்கவும். இசைக்கவட்டின் அடுக்கமும் தந்தியின் அடுக்கமும் ஒன்ருனல் தந்தியும் தானே துடிக்க ஆரம்பிக்கும். இது 'உடனியியல் துடிப்பு' (Sympathetic vibration) எனப்படும். இத்துடிப்பினுலே காகிதத் துண்டு தூக்கி எறியப்படும். எனவே துடிக்கும் இசைக் கவட்டின் காம்பை ஒலிப்பெட்டியின் ஒரு முனையிலே வைத்து அழுத்திப் பிடித்துக்கொண்டு, இயங்கும் குதிரையை நகர்த்திக்கொண்டே வந்து காகிதத் துண்டு தூக்கியெறியப்படும்போது அதன் நிலையைக் காணவும். இப்போது தந்தியினது துடிக்கும் பகுதியின் நீளத்தை அளந்துகொள்ளவும். அதை l_1 என்று கொள்வோம். இவ்வாறே n_2, n_3, n_4..........என்ற அடுக்கங்கள் கொண்ட மற்ற கவடுகளையும் எடுத்துக்கொண்டு பரிசோதனையைச் செய்து, அவை ஒவ்வொன்றிற்குமுரிய l_2, l_3, l_4........ என்னும் சுருதிமானித் தந்தியின் நீளங்களை முறையே காணவும். கண்ட அளவுகளை அட்டவணையிடும் முறை வருமாறு :—

எண்	துடிக்கும் தந்தியின் நீளம் l	இசைக்கவட்டின் அடுக்கம் n	$n \times l$

கடைசிக் கலத்தில் காணும் இராசிகள் ஏறக் குறைய சமமாகவே இருப்பதைக் காணலாம். இதனால் பிகு மாறாதிருந்தால் ஒரு தந்தியின் அடுக்கம் அதன் நீளத்திற்கு எதிர்விகிதமானது என்று கொள்ளலாம்.

விதி II. l, m என்பன மாறாதிருந்தால் $\sqrt{T} \propto n$. தந்தியின் பிகுவோடு அடுக்கம் எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைக் காண்பது சிறிது கடினம். இதிலே தந்தியின் நீளத்தை மட்டும் மாற்றாமல் வைத்துக்கொண்டு, பிகுவை வேண்டியவாறு மாற்றி, அவ்வப்போதும் ஏற்படும் துடிப்பு அடுக்கங்களுக்குத் தக்க இசைக்கவடுகளைக்கொண்டு ஸ்வரங்களை ஒன்றி நிற்கச்செய்து, அந்த அடுக்கங்களைக் காணவேண்டும். இவ்வாறு செய்வதானால் ஏராளமான இசைக்கவடுகள் வேண்டியிருக்கும். எனவே இது சாத்தியமல்ல. இல்லாவிட்டால் தந்தியின் நீளத்தை மாற்றாமல் வைத்துக்கொண்டு, ஏதேனுமொரு இசைக்கவட்டை எடுத்துக்கொண்டு, அதன் ஸ்வரத்தோடு சுருதிமானியின் ஸ்வரம் ஒன்றி நிற்கும்வரை தராசுத்தட்டிலே எடைகளையிட்டும் எடுத்தும் சரிப்படுத்தவேண்டும். எடைகளைச் சீராக அதிகரித்தலும் குறைத்தலும் முடியாதாகையால் இதுவும் சிரம சாத்தியமேயாகும். இதற்காக இந்த நேர்முகமான வழிகளைவிட்டு மறைமுகமானதொரு முறை கையாளப்படுகிறது. இதன்படி பிகுவை விரும்பியபடி வைத்துக்கொண்டு, ஏதேனுமொரு இசைக்கவட்டை எடுத்து, அதனோடு சுருதிமானியின் ஸ்வரம் ஒன்றி நிற்குமாறு தந்தியின் நீளம் மாற்றப்படும். இப்போது கம்பியின் பிகுவும், அடுக்கமும், நீளமும் முறையே T_1, n_1, l_1, என்று கொள்வோம். பிகுவை T_2 ஆகும்படி மாற்றி, அதே இசைக்கவட்டை வைத்துக்கொண்டு இப்போது தந்தியின் நீளமாகிய l_2 காணப்படும். இவ்வாறே T_3, T_4........ என்ற பிகுக்களுக்குரிய l_3, l_4......

என்ற தந்தியின் நீளங்களும் முறையே காணப்படும். முதல் விதிப்படி பிகு மாறிலியானால் அடுக்கம் நீளத்திற்கு எதிர்விகிதமாகும். இதைக்கொண்டு நாம் இரண்டாவது விதியைச் சரிபார்க்கலாம். அது வருமாறு:—

l_1 நீளம்கொண்ட கம்பியின் பிகு T_1 ஆனால், அதன் அடுக்கம் n_1 ஆகும்.

l_2 நீளங்கொண்ட கம்பியின் பிகு T_2 ஆனபோது, அதன் அடுக்கமும் n_1 ஆகும்படி செய்தோம். நாம் l_1 நீளங்கொண்ட கம்பியையே இரண்டாவது முறையிலும் உபயோகித்திருந்தால் T_2 என்னும் பிகுவிலே அதன் அடுக்கம் $n_2 = \frac{n_1 l_2}{l_1}$ ஆகியிருக்கும். எனவே நாம் l_1 என்ற நீளமுள்ள கம்பியே T_2 என்ற பிகுவிலே மேற்கொள்ளக்கூடிய அடுக்கத்தைக் கண்டுவிட்டோம். இவ்வாறே l_1 நீளங்கொண்ட கம்பியே T_3 என்ற பிகுவிலே மேற்கொள்ளக்கூடிய அடுக்கம் $n_3 = \frac{n_1 l_3}{l_1}$ ஆகும். இவ்வாறே நாம் n_4, n_5 .... என்னும் அடுக்கங்களைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். இந்த முடிபுகளிலிருந்து $\sqrt{T} \propto n$ என்று காட்டலாம். இந்த முடிபுகளை அட்டவணையிடும் முறை வருமாறு:

எண்	l	l_1 க்காகக் கணக்கிட்ட அடுக்கம் $n = \frac{n_1 l}{l_1}$	T	$\frac{\sqrt{T}}{n}$
1	l_1	$n_1 =$	T_1	$\frac{\sqrt{T_1}}{n_1}$
2	l_2	$n_2 = \frac{n_1 l_2}{l_1}$	T_2	$\frac{\sqrt{T_2}}{n_2}$
3	l_3	$n_3 = \frac{n_1 l_3}{l_1}$	T_3	$\frac{\sqrt{T_3}}{n_3}$

கடைசிக் கலம் மாறிலியாய் இருக்கும். இதைக் கணக்கிடுவதற்கு n_1 என்பதின் மதிப்புத் தெரியவேண்டிய அவசியமேயில்லை. ஏனெனில்

$$\frac{\sqrt{T_1}}{n_1} = \frac{\sqrt{T_2}}{n_2\ l_2} \times l_1 = \frac{\sqrt{T_3}\ l_1}{n_1\ l_3}$$

என்பவற்றை முறையே

$$\frac{\sqrt{T_1}}{l_1} = \frac{\sqrt{T_2}}{l_2} = \frac{\sqrt{T_3}}{l_3}$$

என்று n_1-ஐ நீக்கிவிட்டே கொள்ளலாம்.

விதி III. l, T என்பன மாறுதிருந்தால்

$$n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$$

முதலில் ஒரு கம்பியை மாட்டி, தட்டிலே எடையிட்டு பிகு உண்டாக்கி ஒரு இசைக்கவட்டைக்கொண்டு, இக்கம்பியிலே எவ்வளவு நீளம்கொண்ட பகுதி அந்த இசைக்கவட்டின் ஸ்வரத்தோடு ஒன்றி நிற்கும் ஸ்வரத்தை எழுப்புகிறது என்று காணவும். இதை l_1 என்று கொள்வோம். இந்தக் கம்பியை எடுத்துவிட்டு வேறொரு கம்பியை மாட்டி, அதே எடையையிட்டு, இக்கம்பியிலே எத்தனை நீளமுள்ள பகுதி, முன்னே எடுத்துக்கொண்ட அதே இசைக்கவட்டினோடு ஒன்றிய ஸ்வரத்தை வெளியிடுறகிது என்று காணவும். இதை l_2 என்று கொள்வோம். இவ்வாறே பலவேறு கம்பிகளைக்கொண்டு அவை ஒவ்வொன்றுக்கு முரிய l_3, l_4... என்ற நீளங்களை அளவிட்டுக்கொள்ளவும். ஒவ்வொரு கம்பியையும் அவ்வப்போது தராசில் எடையிட்டு, அதன் நீளத்தையும் அளந்து, ஒரு அலகு நீளத்திற்குரிய அவற்றின் நிறைகளான m_1, m_2, m_3.........என்பவற்றைக் கணக்கிட்டுக்கொள்ளவும். இக்கம்பிகள் ஒவ்வொன்றும் வெவ்வேறு பொருள்களாலானதாகவும்,

வெவ்வேறு வெட்டுவாய் ஆரங்களைக் கொண்டதாயும் இருத்தல் நலம்.

முதல் விதியினுதவியால் எல்லாக் கம்பிகளும் ஒரே பிருவுக்குட்பட்டு l_1 என்னும் ஒரே நீளத்தைக்கொண்டு இருந்தால் மேற்கொள்ளக்கூடிய n_2, n_3, n_4 .... என்னும் அடுக்கங்களைக் கணக்கிடவும். $n\sqrt{m}$ என்பது ஒரு மாறிலி அல்லது $\frac{1}{\sqrt{m}} \propto n$ என்பதை இந்த முடிபுகளிலிருந்து காணலாம். கண்ட முடிபுகளை அட்டவணைப்படுத்தும் முறை வருமாறு :

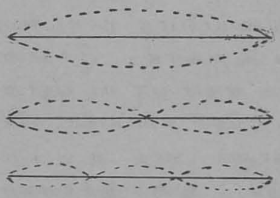
கம்பியின் எண்	ஒரே இசைக் கவட்டோடு ஒன்றி ஒலித்த கம்பியின் நீளங்கள்	ஒவ்வொரு கம்பியிலும் அலகு நீளம் கொண்ட பகுதியின் நிறை	l_1 நீளத்திலே மேற்கொள்ளக் கூடிய அடுக்கங்கள்	$n\sqrt{m}$
1	$l_1 =$	$m_1 =$	n_1	$n_1\sqrt{m_1}$
2	$l_2 =$	$m_2 =$	$n_2 = \frac{n_1 l_2}{l_1}$	$n_2\sqrt{m_2}$
3	$l_3 =$	$m_3 =$	$n_3 = \frac{n_1 l_3}{l_1}$	$n_3\sqrt{m_3}$

இந்த அட்டவணையில் கடைசிக் கலம் மாறிலியாய் இருப்பது விளங்கும். $l_1\sqrt{m_1} = l_2\sqrt{m_2} = l_3\sqrt{m_3}$ என்று காட்டினாலும் இந்த விதி நிரூபிக்கப்பட்டதாகும். இதிலே இசைக்கவட்டின் அடுக்கம் சேர்க்கப்படவே இல்லை.

சுருதிமானியைக்கொண்டு சுருதியின் தனியியல் அளவைக் காணுதல் :—ஒரு கம்பியை சுருதிமானியில் மாட்டி அதன் நுனியில் T டைன்கள் கொண்ட பிருவை ஏற்படுத்தவும். அடுக்கம் காணவேண்டிய

தொரு இசைக்கவட்டின் ஸ்வரத்தோடு ஒன்றி நிற்கும் ஸ்வரத்தை எவ்வளவு நீளமுள்ள கம்பி வெளியிடுகிறது என்று காணவும். கம்பியின் நீளம் l என்று கொள்வோம். கம்பியின் ஒரு பகுதியை வெட்டியெடுத்து, நிறுத்து, அதன் நீளத்தையும் அளந்து, அலகு நீளத்திற்குரிய அதன் நிறையாகிய m-ஐ காணவும். இசைக்கவட்டின் அடுக்கம் n ஆனால் $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ ஆகும். இதைக் கணக்கிடவும்.

பரிவார சுருதிகள் :—(படம் 343). நாம் இதுவரை தந்திகள் துடிக்கும்போது அவற்றின் இரு முனைகளில் மட்டுமே முடிகளைக்கொண்டு துடிப்பதாகக் கொண்டோம். இதனால் தந்தியின் பிரதான சுருதி மட்டுமே வெளிப்படுகிறது. ஆனால் தந்தி துடிக்கும்போது அதனடுவிலே ஏதேனுமொரு இடத்தைத் தொட்டால் அந்த இடம் ஒரு முடியாக மாறிவிடத் தந்தி இரண்டு அல்லது மேற்பட்ட கண்டங்களாகப் பிரிந்து துடிக்கும். ஒரு தந்தி தனது பிரதான சுருதியை வெளியிட்டுத் துடிக்கும்போது ஒரு மெல்லிய இறகினாலே அத்தந்தியின் நடுமையத்தைத் தீண்டினால், அது இரண்டு கண்டங்களாகப் பிரிந்து துடிக்கும். இப்போது தந்தியிலே மூன்று முடிகளும் அவற்றினிடையே இரண்டு எதிர் முடிகளும் தோன்றுகின்றன. இப்போது வெளிப்படும் ஸ்வரத்தின் அடுக்கம் பிரதான சுருதியின் இருமடங்காகும். இவ்வாறே தந்தியின் ஒரு முனையிலிருந்து மூன்றிலொரு பங்கு தூரத்திலே கம்



படம் 343

பியைப் பிடித்துக்கொண்டு, குறுகிய பகுதியின் மத்தியிலே தெறித்தால், அல்லது வில்லினால் மீட்டினால், தந்தி மூன்று பிரிவுகளாகப் பிரிந்து துடிக்கும். இதிலே நான்கு முடிகளும் மூன்று எதிர் முடிகளும் தோன்றும். இப்போது வெளிப்படும் ஸ்வரத்தின் சுருதி பிரதான சுருதியைப்போல மூன்று மடங்கு கொண்டதாய் இருக்கும். தந்தியைப் பின்னும் பல பகுதிகளாகப் பிரித்துப் பின்னும் உயர்ந்த சுருதிகளை வெளியிடும்படி செய்யலாம். முடிகளின் நிலைகளை நாம் முன்பு கூறிய Λ வடிவான காகிதத் துண்டால் கண்டறியலாம். இத்துணுக்குகள் முடியின்மீது நின்றால் தந்தி துடிக்கும்போதும் அவை தெறித்துக் கீழே விழாமல் இருக்கும்.

சுருதிமானித் தந்தி பல கண்டங்களாகப் பிரிந்து துடிக்கும்போது பொதுவாகக் கண்டங்களின் எண்ணிக்கை n என்று கொண்டால், அதிலிருந்து வெளிப்படும் சுருதி, பிரதான சுருதியைப்போல n மடங்கு கொண்டதாய் இருக்குமென்று கூறலாம். பிரதான சுருதிக்கு மேலாகத் தோன்றும் அதன் பல மடங்கான சுருதிகளெல்லாம் பரிவாரச் சுருதிகள் எனப்படும். பிரதான சுருதிமட்டும் ஒலித்ததானால் அந்த ஸ்வரம் தூய்மையானதென்று கூறப்படும். ஆனால் இத்தகைய தூய ஸ்வரத்தைப் பெறுவது எளிதல்ல. ஒரு தந்தியைத் தனது பிரதான சுருதியை வெளியிடும்படியான பிரதான துடிப்பை மட்டும் மேற்கொள்ளச் செய்வது முடியாது. பிரதானத் துடிப்புடனே சில பரிவாரத் துடிப்புகளும் சேர்ந்தே எப்போதும் காணப்படும். இவ்வாறு பிரதானத் துடிப்புடனே சில பரிவாரத் துடிப்புகளும் கூடியிருப்பது பின்னல் துடிப்பு (Complex vibration) எனப்படும். இதிலிருந்து வெளிப்படும் ஒலி 'பின்னல் ஸ்வரம்' (Complex note) எனப்படும். பிரதான சுருதியோடு இத்தகைய பலவேறு

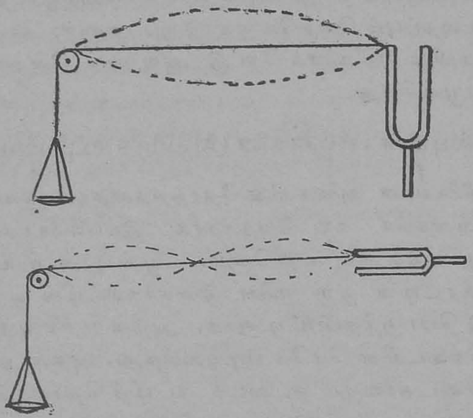
பட்ட பரிவார-சுருதிகள் கலந்திருப்பதே ஸ்வரங்கள் பண்பு வேறுபடுவதற்குக் காரணமாகும். பிரதான சுருதியோடு கூடியுள்ள பரிவார சுருதிகளின் தன்மை, எண்ணிக்கை, உறைப்பு முதலியவற்றிற்குத் தகுந்த படியே ஸ்வரங்களின் பண்பு மாறுபடும். வெவ்வேறு சங்கீதக் கருவிகளிலிருந்து வெளிப்படும் ஸ்வரங்களிலே இந்தப் பரிவார சுருதிகளின் எண்ணிக்கையும், தன்மையும், உறைப்பும் வெவ்வேறாக இருப்பதனால், நாம் அக்கருவிகளின் ஒலிகளைக் கேட்டு அவற்றை வேறுபடுத்தி அறியமுடிகிறது.

மெல்டியின் பரிசோதனை (Melde's experiment)

நிலையான அலைகளின் தோற்றத்தையும் அமைப்பையும் விளக்கிக் காட்டுவதற்காக இப்பரிசோதனையை முன்பு எடுத்துக் கூறினோம். முன்பு கூறியபடியே, ஒரு சரட்டின் ஒரு முனை இசைக்கவட்டின் ஒரு கிளையோடு பொருத்தப்பட்டிருக்க, அதன் மற்றொரு முனை ஒரு சகடையின் மேலே படியவைத்து, அதன் நுனியில் ஒரு எடைதாங்கும் தட்டைக் கட்டித் தொங்கவிடவும். இசைக்கவட்டின் அடுக்கமும், பிகுவுக்குகந்தவாறு தந்தியிலேற்படக்கூடிய துடிப்பின் அடுக்கமும் ஒன்றிவிட்டால், இத்தந்தி பல கண்டங்களாக நன்றாகப் பிரிந்து துடிப்பதைக் காணலாம். இவை ஒன்றுவிட்டால் துடிப்புக் கண்டங்கள் அடிக்கடி இடமும் அளவும் மாறுபடும். அல்லது அவை சுழலும். இவ்வாறு நேரிட்டால் தந்தியின் நீளத்தைச் சரிப்படுத்தி அதிலே கிரமமும், நிலைப்புமுள்ள துடிப்புக் கண்டங்கள் ஏற்படுமாறு செய்ய வேண்டும்.

இசைக்கவட்டின் கிளைகள் தந்தியின் திசைக்குக் குறுக்கே துடித்தால் அது குறுக்குத் துடிப்பு எனப்படும். அவை தந்தியின் திசையிலே துடித்தால் அது

நெட்டுத் துடிப்பு எனப்படும். (படம் 344)இல் இவ் விருவகைத் துடிப்புகளும் காட்டப்பட்டு இருக்கின்றன. குறுக்குத் துடிப்பிலே தந்தியின் அடுக்கம் கவட்டின் அடுக்கத்திற்குச் சமமாகும். நெட்டுத் துடிப்பிலோ தந்தியின் அடுக்கம் கவட்டின் அடுக்கத்திற் பாதியாகும் என்பதை எளிதிலே காட்டலாம். குறுக்குத் துடிப்பு

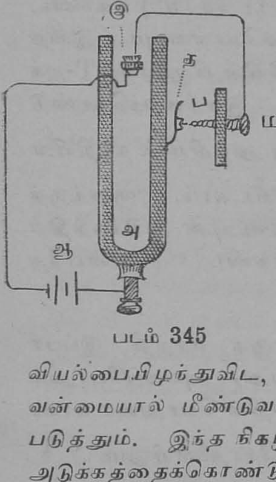


படம் **344**

களின் விதிகளை மெல்டியின் பரிசோதனையால் சரிபார்க்கலாம். இந்தப் பரிசோதனைகளைச் செய்யும்போது மின்சார சாதனத்தினுதவியால் இசைக்கவட்டைத் தொடர்ந்து இடைவிடாது துடிக்கும்படி செய்யவேண்டும். இவ்வாறு செய்துவிட்டால் அவ்வப்போதும் இசைக்கவட்டைத் தட்டிவிடவேண்டிய தொல்லை ஒழியும். இந்தச் சாதனத்தின் அமைப்பொன்று (படம் 345)இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

பிளாடினத் துணுக்கைக் கொண்ட த என்னும் ஒரு விற்பட்டை அ என்னுமொரு இசைக்கவட்டின் ஒரு

கிளையிலே பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இது தனக்கெதிரேயுள்ள ப என்னும் மற்றொரு துணுக்கைத் தீண்டுகிறது. இந்த இரண்டாவது துணுக்கும ப என்னும் ஒரு திருகினால் தாங்கப்படுகிறது. இ என்னுமொரு மின்னியல் காந்தம் ஆ என்னும் மின்கல அடுக்கினால் (Battery) தொழிற்படுகிறது. மின்கல அடுக்கின் ஒரு துருவம் மின்னியல்-காந்தத்தோடும் காந்தத்தின் இரண்டாவது துருவம் ம ப என்னும் திருகோடும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. மின்கல அடுக்கின் மற்றொரு துருவம் இசைக்கவட்டின் காம்போடு இணைக்கப்பட்டுள்ளது. த, ப இரண்டும் தொட்டுக்கொண்டால் மின்சார மண்டிலம் (Electric circuit) முற்றுப்பெறும். இதனால் மின்னியல்-காந்தம் இசைக்கவட்டின் கிளையைக் கவரும். இதனால் த, ப என்பன விலகிப்போய் மண்டிலம் அறுந்துவிடும். மின்னியல்-காந்தம் தன் காந்தவியல்பையிழந்துவிட, கவட்டின் கிளை தனது நெகிழ்ச்சி வன்மையால் மீண்டுவந்து மறுபடியும் தீண்டலை ஏற்படுத்தும். இந்த நிகழ்ச்சி மீண்டும் மீண்டும் கவட்டின் அடுக்கத்தைக்கொண்டு நிகழும். இவ்வாறாகக் கவட்டின் துடிப்பு இடைவிடாது தொடர்ந்து நிற்கும்.



படம் 345

மேல்டியின் பரிசோதனையினாலே ஒரு இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தைக் காண:—குறுக்குத் துடிப்பையோ அல்லது நெட்டுத் துடிப்பையோ கொண்டு இப்பரிசோதனையைச் செய்யலாம். குறுக்குத் துடிப்பை முதலிலே எடுத்துக்கொள்வோம். மேலே விவரிக்கப்பட்ட மின்சார சாதனத்தால் கவட்டின் துடிப்பை

ஏற்படுத்தவும். மற்ற ஏற்பாடுகளை மெல்டியின் பரிசோதனை போலவே செய்துவைக்கவும். கவட்டின் துடிப்பு தந்தியின் திசைக்குக் குறுக்காக நிற்கவேண்டும். செம்மையான துடிப்புக்கண்டங்கள் ஏற்படுமாறு தந்தியின் நீளத்தையும் பிகுவையும் சரிப்படுத்தவும். நடுவிலுள்ள சில கண்டங்களின் நீளங்களை அளந்து ஒரு கண்டத்தின் பொதுமை நீளத்தைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளவும். இதை 'l' என்று கொள்வோம். சரட்டின் ஒரு பகுதியை எடுத்து அதன் நீளத்தையும் நிறையையும் அளவிட்டு, அலகு நீளம் (1 செ. மீ.) கொண்ட சரட்டின் நிறையைக் கணக்கிட்டுக்கொள்ளவும். இதை 'm' என்று கொள்வோம். தந்தியின் பிகுவாகிய T-ஐக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். இவற்றைக்கொண்டு $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ என்னும் வாய்பாட்டினுதவியால் தந்தியின் அடுக்கமாகிய n-ஐக் கணக்கிட்டுவிடலாம். குறுக்குத் துடிப்பிலே சரட்டின் அடுக்கம் கவட்டின் அடுக்கத்திற்குச் சமமாகையால் நாம் மேலே கண்ட 'n' என்பதே கவட்டின் அடுக்கமாகும்.

தந்தியின் பிகுவைப் பலவாறாக மாற்றி இப்பரிசோதனையைப் பன்முறை செய்து, அவ்வப்போதும் அடுக்கத்தைக் கணக்கிட்டு, அவற்றின் பொதுமை காணலாம். அல்லது, ஒவ்வொரு பரிசோதனையிலும் $\frac{\sqrt{T}}{l}$ என்னும் இராசியைக் கணக்கிட்டால் அவை ஏறக்குறைய சமமாக இருக்கும். அவற்றின் பொதுமை கண்டு அதையே வாய்பாட்டில் இட இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தை அடையலாம்.

இசைக்கவடு தந்தியின் திசையிலேயே துடிக்கும்படியாக வைத்து, இதே பரிசோதனையை மீண்டும் பன்முறை செய்து, அதன் அடுக்கத்தைக் கணக்கிடலாம்.

ஆனால் இப்போது சரட்டின் அடுக்கம் கவட்டின் அடுக்கத்திற் பாதியே யாகையால் $n = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ என்னும் வாய்பாட்டைக்கொண்டு இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தைக் கணக்கிடவேண்டும்.

உதாரணம் 1. 500 கிராம் எடை பிகுவுக்குட்பட்டதொரு தந்தி இரண்டு கண்டங்களாகப் பிரிந்து துடிக்கிறது. இது மூன்று கண்டங்களாகப் பிரிந்து துடிக்கவேண்டுமானால் பிகுவை எவ்வாறு மாற்றவேண்டும்?

இரண்டு கண்டங்களாகத் துடித்த கம்பி மூன்று கண்டங்களாகத் துடிக்கும்போது அதன் அடுக்கம் $\frac{3}{2}$ மடங்காகும்.

ஆனால் தந்தியின் அடுக்கம் அதன் பிகுவின் வருக்கமூலத்திற்கு ஏற்பவுள்ளது. எனவே தந்தியின் பிகுவின் வருக்கமூலம் $\frac{3}{2}$ மடங்காகவேண்டும். அதாவது அதன் பிகு $(\frac{3}{2})^2$ மடங்காக வேண்டும். முன்பிருந்த பிகு 500 கிராம் எடை. எனவே தந்தி 3 கண்டங்களாகத் துடிக்கவேண்டுமானால் அதன் பிகு $500 \times (\frac{3}{2})^2 = 1125$ கிராம் எடை ஆகவேண்டும்.

உதாரணம் 2. ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ள ஒரு தந்தியின் பிகு $\frac{1}{4}$ கி. கிராம் எடை. இது 2 கண்டங்களாகத் துடிக்கிறது. இத்தந்தியின் நிறை ·01 கிராம்/செ.மீ. இதிலிருந்து வெளிப்படும் ஸ்வரத்தின் அடுக்கம் காண்க.

தந்தியின் அடுக்கத்திற்கான வாய்பாடு

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}.$$

இதில் n என்பது தந்தியின் அடுக்கம்.

l என்பது துடிக்கும் கண்டமொன்றின் நீளம்
$= \frac{1}{2}$ மீட்டர்.

T என்பது தந்தியின் பிகு $= \frac{1}{4}$ கி. கி. எடை.

m என்பது ஒரு செ. மீ. நீளமுள்ள தந்தியின்
நிறை $=$ ·01 கிராம்.

இவற்றை வாய்பாட்டில் இடவே

$$n = \frac{1}{2 \times \frac{1}{2} \times 100}\sqrt{\frac{250 \times 980}{\cdot 01}} = 49\cdot 5.$$

இந்தத் தந்தியின் அடுக்கம் 49·5 ஆகும்.

உதாரணம் 3. 2 கி. கிராம் எடை பிகு கொண்ட தொரு தந்தியின் ஸ்வரம், 256 அடுக்கம் கொண்ட தொரு இசைக்கவட்டின் ஸ்வரத்தோடு ஒன்றுபடுகிறது. அது 320 அடுக்கம் கொண்ட இசைக்கவட்டோடு ஒன்றுபடவேண்டுமானால், அதன் பிகுவை எவ்வளவு அதிகரிக்கவேண்டும்?

தந்தியின் துடிப்பு அடுக்கம் அதன் பிகுவினது வர்க்கமூலத்திற்கு ஏற்றது.

அதாவது $n \propto \sqrt{T}$

அல்லது $\frac{n_1^2}{n_2^2} = \frac{T_1}{T_2}$.

கணக்கில் கண்ட இராசிகளை இதில் இடவே

$$\frac{256^2}{320^2} = \frac{2}{T_2}$$

அல்லது $T_2 = \frac{320^2 \times 2}{256^2} = 3\cdot 125.$

அந்தத் தந்தி 320 அடுக்கம் கொள்ளவேண்டுமானால் அதன் பிகு 3·125 கி. கிராம் எடை ஆகவேண்டும்.

உதாரணம் 4. 4 அடி நீளமுள்ளதொரு தந்தி, 256 அடுக்கம் கொண்டதொரு இசைக்கவட்டிேைடு ஒன்றுபடுகிறது. இதன் நீளம் 6 அங். குறைந்துவிட்டால் அதன் துடிப்பு அடுக்கம் யாதாகும்?

தந்தியின் அடுக்கம் அதன் நீளத்திற்கு எதிர்விகிதமாக மாறும்.

அதாவது $n \propto \frac{1}{l}$.

அல்லது $\frac{n_1}{n_2} = \frac{l_2}{l_1}$.

கணக்கிலே கண்ட ராசிகளை இடவே $\frac{256}{n_2} = \frac{42}{48}$.

ஆகையால் $n_2 = \frac{256 \times 48}{42} = 292 \cdot 5$.

எனவே தந்தியின் நீளம் 6 அங். குறைந்தபின்னர் அதன் அடுக்கம் 292·5.

வினுக்கள்

1. ஒரு தந்தியின் அடுக்கத்தையும் அதன் பிகு, நீளம், செறிவு என்னும் இராசிகளையும் தொடுக்கும் தொடர்புகளை எடுத்துக் கூறுக.

இவற்றை எவ்வாறு பரிசோதித்தறியலாம் என்பதையும் விவரித்துக் கூறுக.

ஒரு தந்தியை அதன் நடுவில் தெறிக்க அது செகண்டுக்கு 120 தரம் துடித்தது. அதன் நீளத்தை இருமடங்காக்கி பிகுவைச் சரிபடுத்தவே அது செகண்டுக்கு 180 தரம் துடித்தது. இந்த இரண்டு நிலைகளிலும் தந்தியின் பிகுக்களின் தகவைக் காண்க.

(சென்னை : மார்ச்சு, 1924)

2. தந்திகளின் துடிப்புகளுக்குரிய நியமங்களை விவரித்துரைக்கவும்.

(காசி : 1933)

3. ஒரு தந்தியினின்று வெளிப்படும் ஸ்வரத்தின் சுருதிக்கும் (a) அத்தந்தியின் நீளத்திற்கும் (b) அலகு நீளத் தந்தியின் நிறைக்கும் உள்ள தொடர்பு யாதாகும்.

(சென்னை : மார்ச்சு, 1924)

4. 25 செ. மீ. நீளமும் 100 மி. கிராம் நிறையும் கொண்டதொரு தந்தி 250 கிராம் எடை கொண்ட பிகுவுக்குட்படுத்தப்பட்டது. இதை மீட்டியபோது அதன் ஸ்வரம் ஏதோ ஒரு இசைக்கவட்டின் ஸ்வரத்தோடு ஒன்றுபட்டிருப்பதாகக் காணப்பட்டது. இவ்விசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை : மார்ச்சு, 1923)

5. துடிக்குமொரு தந்தியின் அடுக்கம் அதன் நீட்சிச் செறிவின்மீது எவ்வாறு சார்ந்து நிற்கிறது? இந்த

நியமத்தைச் சரிபார்ப்பதற்கான தொரு பரிசோதனையை விவரிக்கவும்.

1 கிலோ கிராம் எடைப் பிகு கொண்டதொரு தந்தியின் ஸ்வரம், 320 அடுக்கம் கொண்ட இசைக்கவட்டின் ஸ்வரத்தோடு ஒன்றுபடுகிறது. இதே தந்தி 256 அடுக்கம்கொண்டதொரு இசைக்கவட்டினோடு ஒன்றுபட வேண்டுமானால் அதன் பிகுவை எவ்வாறு மாற்றவேண்டும்.

(சென்னை : மார்ச்சு, 1923)

6. தந்திகளிலேற்படும் குறுக்குத் துடிப்புகளுக்குரிய நியமங்களை எடுத்துக்கூறுக. ஒரு சுருதிமானியைக் கொண்டு ஒரு இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தை எவ்வாறு காணலாமென்று விளக்குக.

(அண்ணமலை : 1933)

7. ஒன்றுக்கொன்று சர்வ சமமான இரண்டு தந்திகள் ஒரு சுருதிமானிமீது இணைக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு தந்தியின் பிகு மாற்றப்பட்டு அது மற்றொரு தந்தியின் மேல் ஸ்தாயியை அடையுமாறு செய்யப்பட்டது. எடைகளின் தகவு இப்போது யாதாகும்? இரண்டாவது கம்பியின் மையப் புள்ளியைத் தொட்டால் ஒலிப்பது நின்றுவிடுமா?

(சென்னை : மார்ச்சு, 1921)

8. தந்திகளின் துடிப்புகளுக்குரிய நியமங்களை எடுத்துக்கூறுக.

25 செ. மீ. நீளமும் 100 மி. கிராம் நிறையும் கொண்டதொரு கம்பியின் பிகு 250 கிராம் எடை. இதை மீட்டியபோது வெளிப்படும் ஸ்வரம் ஒரு இசைக்கவட்டின் ஸ்வரத்தோடு ஒன்றுபட்டது. அந்த இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தைக் காண்க.

(சென்னை : மார்ச்சு, 1933)

9. தந்திகளிலேற்படும் குறுக்குத் துடிப்புகளுக்குரிய நியமங்களை எடுத்துக்கூறுக. தந்தியின் நீளம், பிகு இவைகளைப்பற்றிய நியமங்களை எவ்வாறு பரிசோதனையால் சரிபார்க்கலாம்.

(ஆந்திரா : செப். 1932)

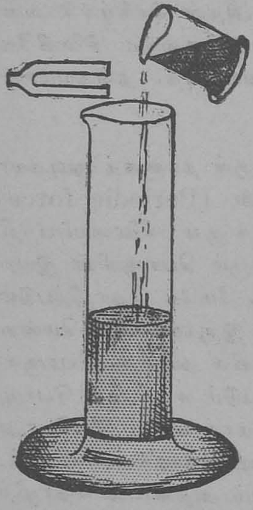
அத்தியாயம் 5

உடனியக்கம் (Resonance)

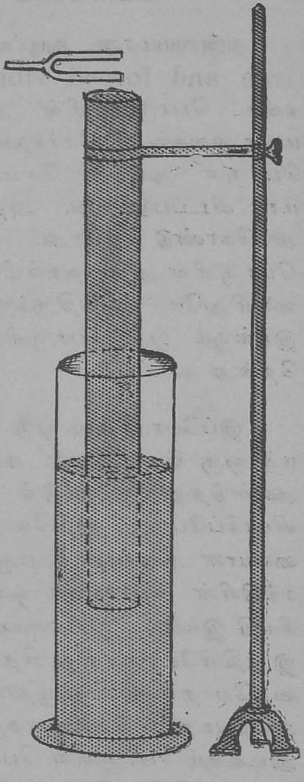
தன்வயமான துடிப்பும் பிறவயமான துடிப்பும் (free and forced vibrations):—நாம் இதுவரை கண்ட பொருள்களின் துடிப்புகளெல்லாம் தன்வயமான வகையைச் சேர்ந்தவை. இவற்றிலெல்லாம் ஒரு பொருள் துடிக்கச் செய்யப்பட்டுப் பின்னர் தன்வயமாக விடப்படுகிறது. அதன் பிறகு பொருள் துடித்துக்கொண்டு நிற்கிறது. இத்துடிப்புகளின் பொழுது பொருளின் அளவைகள்மீதும் அதன் நெகிழ்ச்சி வன்மைமீதுமே சார்ந்திருக்கும். இத்தகைய நிலையிலே இயங்கும் ஒரு பொருளின் துடிப்புத். தன்வயமானதென்று கூறப்படும்.

இப்போது நாம் ஒரு பொருள் தானகத் துடிக்காமல் ஒரு போழுதியல் சக்தியின் (Periodic force) தூண்டுதலுக்குட்பட்டுத் துடிக்கும் நிலையைப்பற்றி விசாரிப்போம். இதிலே துடிக்கும் பொருளின் இயற்கையான துடிப்புப் பொழுதும், மேலே தொழிற்படும் சக்தியின் பொழுதும் ஒன்ருக இருக்கவேண்டுமென்ற நியதி இல்லை. இத்தகைய நிலையில் துடிக்கும்பொருள் இறுதியிலே தன்மீது தொழிற்படும் சக்தியின் பொழுதையே தனது பொழுதாகக் கொள்ளும். இப்போது அப்பொருள் பிறவயமாகத் துடிப்பதாகக் கூறப்படும். துடிக்கும் பொருளின் பொழுதும் அதன்மீது தொழிற்படும் சக்தியின் பொழுதும் சமமாகியதொரு சிறப்பான நிலையிலே உடனியக்கம் என்னும் நிகழ்ச்சி தோன்றும். இது மிக எளிதாகையால் முன்னல் இதைப்பற்றியே விசாரிப்போம்.

காற்றுநிரைகளிலே தோன்றும் உடனியக்கம்:— ஒரு மீட்டர் நீளங்கொண்டதொரு கண்ணாடிச் சாடியின் வாயினருகிலே ஒரு இசைக்கவட்டைத் தட்டிப் பிடித்தால், சாடியினுள்ளிருக்கும் காற்றுநிரையிலே துடிப்புகளும் சிறிது ஒலியும் ஏற்படுவதைக் கேட்கலாம். (படம் 346). சாடியினுள்ளே நீரைப் பெய்து காற்றுநிரையின் நீளத்தைக் குறைத்துக்கொண்டே வந்தால், ஒரு நிலையிலே காற்றுநிரை இசைக்கவட்டின் துடிப்பு



படம் 346



படம் 347

களை நன்ருக ஏற்றுக்கொள்ள, அதனுல் பெருமுழக்கம் ஏற்படுவதைக்காணலாம். இருபுறமும் திறந்து அகன்ற

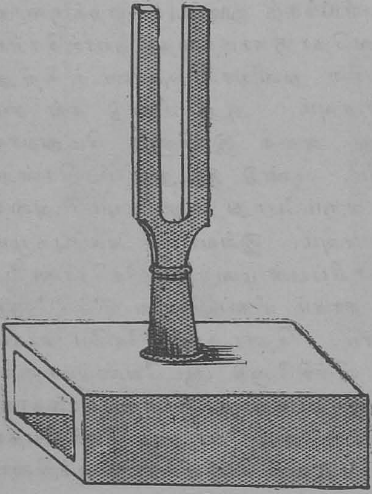
தொரு கண்ணாடிக் குழாயின் ஒரு முனையைத் தண்ணீரிலே முழுக்கி வைத்தும் இப்பரிசோதனையைச் செய்யலாம். (படம் 347). இக்குழாய் நீரினுள் முழுகி நிற்கும் ஆழத்தைப் பலவாறாக மாற்றி, அதனால் காற்றுநிரையின் நீளத்தை வேண்டிய அளவுக்குச் சரிப்படுத்திக் கொள்ளலாம். இந்த நிகழ்ச்சியின் விளக்கம் வருமாறு :

காற்றுநிரையின் நீளத்திற்குகந்தவாறு அதன் இயற்கையான துடிப்பு அடுக்கம் அமைந்திருக்கும். இந்நிரையின் இயற்கை அடுக்கம், இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தோடு ஒத்துப்போகும்படியாக நாம் காற்றுநிரையின் நீளத்தைச் சரிப்படுத்தினால், அது எளிதிலே இசைக்கவட்டின் துடிப்பைத்தான் ஏற்றுக்கொண்டு, அதனால் பெருமுழக்கம்கொண்ட ஒலியை வெளியிடுகிறது. இது உடனியக்கத் துடிப்புகளிலே ஒரு வகையாகும்.

நாலத்தின் உடனியக்கத் துடிப்பு :—ஏறக்குறைய ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ளதொரு நாலத்தைத் தயார்செய்யவும். ஒரு சிறு இறகின் நுனியால் குண்டைச் சிறிது வலதுபுறமாகத் தள்ளவும். அது மீண்டு தன் சமநிலைக்கு வரும்போது அதை இறகினால் மெதுவாக இடதுபுறம் தள்ளவும். குண்டு இடதுபுறம் சென்று மீண்டு சமநிலைக்கு வரும்போது மறுபடியும் அதை வலதுபுறமாகத் தள்ளவும். இவ்வாறாக வலப்புறமும் இடப்புறமும் மாறி மாறிப் பன்முறை தள்ளிக்கொண்டே வந்தால், இறுதியில் நாலம் மிகப் பெரிய வீச்சினோடு ஆடுவதைக் காணலாம். தொடக்கத்திலேயே நாலம் இவ்வளவு பெரிய வீச்சினோடு ஆடவேண்டுமானால், அதைக் கூடியவரைப் பெரியதொரு சக்தியால்தான் செய்யமுடியும். இறகின் நுனியோ மிக மெல்லியதாகையால் அதைக்கொண்டு நாம் பெரியதொரு சக்தியை

நாலத்தின்மீது பிரயோகித்திருக்க முடியாது. ஆனால் இது எவ்வாறு முடிந்தது? நாம் நாலத்தின்மீது பிரயோகித்த சக்தி பொழுதியல்பு வாய்ந்ததென்பதும், அதன் பொழுது நாலத்தின் பொழுதிற்குச் சமமென்பதும் வெளிப்படை. எனவே அச்சக்தி மிக அற்பமேயாயினும், அதன் பொழுதும் நாலத்தின் இயற்கைப் பொழுதும் ஒன்றுபட்டமையால் உடனியக்கம் நிகழ்ந்தது. இதனாலேயே நாலத்தின் வீச்சு அதிகரிப்பது சாத்தியமாயிற்று.

நாம் நாலத்தின்மீது வேறொரு பொழுதுகொண்ட சக்தியைப் பிரயோகித்தால், நாலம் பலவிதமாக ஆடி இறுதியிலே தன்மீது தொழிற்படும் சக்தி வலிமை வாய்ந்ததானால் அதன் வழிக்கே வந்து, அதன் பொழுதையே மேற்கொண்டு ஆடும். ஆனால் வீச்சு மட்டும் மிகக் குறைவாகவேயிருக்கும். உடனியக்கமின்மையே இந்நிகழ்ச்சிக்குக் காரணம். இதுவே பிறவயமான ஆட்டம் அல்லது துடிப்பு என்னப்படும்.


படம் 348

ஏற்றிவைக்கப்பட்ட இசைக்கவடு :–(படம் 348). இசைக்கவட்டை ஒரு ஒலிப்பெட்டியின்மீது ஏற்றிவைப்பதும் உடனியக்கத் தத்துவத்தை மேற்கொண்டுதான் செய்யப்படுகிறது. இசைக்கவட்டினது கிளைகளின் மேற் பரப்பு

மிகக் குறைவாய் இருப்பதால், அவை தம்மைச் சூழ்ந்திருக்கும் காற்றின் சிறிய பகுதியின்மீது மட்டுமே தமது துடிப்பை ஏற்றுவிக்கக்கூடும். அவற்றால் வெளிப்படும் ஒலி ஆற்றலும் மிகக் குறைவாகவே இருக்கும். ஆனால் இதையொரு ஒலிப்பெட்டியின்மீது ஏற்றி வைக்க, அப்பெட்டியினுள்ளிருக்கும் காற்றுநிரை, இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தை மேற்கொள்ளக்கூடிய வாறு அதன் நீளம் அமைந்திருந்தால், காற்றிலே உடனியக்கத் துடிப்பு ஏற்படும். அக்காற்றுநிரையின் பரப்பு அதிகமாகையால், அது வெளியிடும் ஆற்றலும் அதனாலாகும் முழக்கமும் பெரிதாயிருக்கும். இதிலும் இதைப்போன்ற மற்ற உடனியக்கங்களிலும், இயங்கும் பொருளின் ஆற்றல் விரைவிலே செலவழிந்துவிடும். ஆகையால் இசைக்கவடு தனித்திருக்கையில் அதன் ஒலி குன்றியொடுங்குவதைவிட வெகுவிரைவிலே அது ஒலிப்பெட்டியின்மீது வைக்கப்பட்டபோது ஒலி குன்றி யொடுங்கிவிடும்.

சுருதிமானியைக்கொண்டு செய்த பரிசோதனையிலே, சுருதிமானி தந்தியின் ஸ்வரத்தையொரு இசைக்கவட்டின் ஸ்வரத்தோடு ஒன்றிநிற்கச் செய்தபோதும் இதே உடனியக்கத்தைக் கையாண்டோம். இரண்டு ஸ்வரங்களும் ஒன்றிநிற்கும்போது துடிக்கும் இசைக்கவட்டை மானியின் ஒலிப்பெட்டியின்மீது வைக்க, அப்பெட்டியின்மேல் உள்ள தந்தி உடனியக்கத்தால் துடிப்பை மேற்கொண்டது. இதனால் கம்பியின்மீது வைக்கப்பட்ட காகிதத் துண்டு வீசியெறியப்பட்டது. இதையே நாம் இரண்டு ஸ்வரங்களும் ஒன்றிநிற்பதற்கு அறிகுறியாகக் கொண்டோம்.

மேலே கண்டனவெல்லாம் உண்மையான உடனியக்கத்திற்கு உதாரணங்களாகும். ஒரு துடிக்கும் பொருள் மற்றொரு பொருளின்மீது பிறவயமான துடிப்பை ஏற்

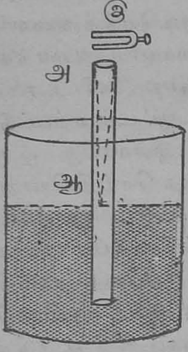
படுத்துவதும் இவ்வுண்மை உடனியக்கமும் ஒன்றெனமயங்குதல் கூடாது. ஒரு துடிக்கும் இசைக்கவட்டின் காம்பை சுருதிமானி பெட்டியின் மூடிமீது அழுத்திப் பிடிக்கும்போது அப்பலகைப் பிறவயமாகத் துடிக்கிறது. பலகையின் பரப்பு அதிகமாகையால் அதனுலேற்பட்ட ஒலியும் அதிகரிக்கிறது. இப்பலகைமீது ஒரே இசைக்கவட்டையன்றி எந்த இசைக்கவட்டைத் தட்டிவிட்டு வைத்தாலும் முழக்கம் அதிகரிப்பதைக் கேட்கலாம். எனவே, இதனுலேற்படும் துடிப்பு உடனியக்கத்தாலேற்பட்டதல்லவென்றும், பிறவயமான இயக்கத்தால் ஏற்பட்டதென்றும் ஊகிக்கலாம். சாமானியமாய் சுருதிமானியினடியில் ஒலிப்பெட்டி வைத்திருப்பது பிறவயமான இயக்கத்தால் ஒலியின் முழக்கத்தை அதிகரிப்பதற்காகவேயாகும்.

அன்றாட வாழ்க்கையில் காணும் உடனியக்க நிகழ்ச்சிகள் :—ஒருவன் ஊஞ்சலில் உட்கார்ந்து ஆடும்போது உடனியக்கத்தால் ஊஞ்சலின் ஆட்ட வீச்சை அதிகரிக்கச் செய்யக்கூடும். ஊஞ்சல் முன்னேக்கிச் செல்லும்போது பின்னுல் சாய்ந்து அதை முன்னே தள்ளியும், அது பின்னேக்கிச் செல்லும்போது முன்னுல் சாய்ந்து ஊஞ்சலைப் பின்னே தள்ளியும் அவன் ஆடுகின்றதாக வைத்துக்கொள்வோம். அப்பொழுது அவன் ஆட்டத்தின் பொழுதும் ஊஞ்சலின் ஆட்டத்தின் பொழுதும் ஒன்றுவதால், உடனியக்கம் ஏற்பட்டு, விரைவிலே ஊஞ்சல் நன்றாக வீசியாட ஆரம்பித்துவிடுகிறது. படகிலே உட்கார்ந்திருக்கும் ஒரு மனிதன் ஒரு புறமாகச் சாய்ந்தும், படகு அந்தப் பக்கத்திலே சிறிது சாய்ந்து மீளும்போது எதிர்ப்புறமாகச் சாய்ந்தும், இம்மாதிரி ஏற்றவாறு ஆடி, படகிலே பெரிய ஆட்டத்தை ஏற்படுத்தி, இறுதியிலே படகைக் கவிழ்த்துவிடவும்கூடும். படைவீரர்கள் பாலங்களைக் கடந்து

செல்லும்போது அவர்களுடைய கிரமமான நடையை விட்டுக் கலைந்துபோகும்படி உத்திரவிடப்படுவார்கள். ஏனெனில், படைவீரர்கள் கிரமமாக அடியெடுத்துவைக்கும் அடுக்கமும், பாலத்திற்கு இயற்கையாய் அமைந்த அடுக்கமும் அகஸ்மாத்தாக ஒன்றுகும்படி நேரிட்டால், உடனியக்கத்தால் பாலத்திலே பெரிய ஆட்டம் ஏற்பட்டு அதனுல் ஆபத்து ஏற்படக்கூடும். இவ்வாறே ஒரு தொங்குபாலம் விழுந்து ஆபத்து நேர்ந்த செய்தியொன்றையும் கேட்டிருக்கிறோம். ரயில்வே தண்டவாளங்கள் கோடை காலத்தில் விரிவதற்கு இடங்கொடுப்பதற்காக சிறிது இடைவிட்டுப் போடப்பட்டிருப்பதை நாமறிவோம். புகைவண்டியின் சக்கரங்கள் இவ்விடைவெளியின்மீது தாண்டிப்போகும்போதெல்லாம் சிறிது குதித்துச் செல்லும். இந்த அசைவு சக்கரங்களுக்கு மேலேயுள்ள விற்சுருள்களால் உறிஞ்சிவிடப்படுவது வழக்கம். இதனுல் வண்டி அதிகமாக ஆட்டங்கொடுப்பதில்லை. ஒரு குறிப்பிட்ட வேகத்திலே வண்டி செல்லும்போது, அடுத்தடுத்துள்ள இக்குதிப்புகளின் இடை நேரம் மேலே கூறிய விற்சுருள்களின் இயற்கையான துடிப்புப் பொழுதோடு ஒத்துப்போய்விடுவதுண்டு. இத்தகைய சமயங்களிலே உடனியக்கம் நேரிட்டு அதனுல் வண்டி அதிக ஆட்டம் கொடுக்கும். இதைக் கவனித்து வண்டியோட்டி அதன் வேகத்தைச் சிறிது வேறுபடுத்தி ஆட்டத்தைக் குறைத்துவிடுவான்.

ஒருபுறம் மூடியுள்ளதோரு குழாயின் நீளத்திற்கும் அதனுள்ளிருக்கும் காற்றுநிரையின் அடுக்கத்திற்குமுள்ள தோடர்பு:—இ என்பது ஒரு இசைக்கவடு என்றும், அது தண்ணீரில் சிறிது முழுக்கப்பட்டுள்ளதொரு குழாயின் வாயினருகிலே (படம் 349)இல் கண்டவாறு பிடிக்கப்பட்டுள்ளதென்றும் கொள்வோம். பெரியதொரு முழக்கம் ஏற்படுமாறு இக்குழாயின் நீளம் சரிப்

படுத்தப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். இசைக்கவட்டி னருகே அடர்த்தி தளர்த்திகள் ஏற்பட்டு, அவை காற்றுநிரையின் நிலையான முனையாகிய நீர் மட்டத்திலே பிரதிபலிக்கப்பட்டு மீண்டு மேலெழுகின்றன. மோதும் அலையும் மீளும் அலையும் ஒன்றன்மீதொன்று படிகின்றன. இதனால் குழாயினுள்ளிருக்கும் காற்று நிரையிலே நிலையான நெட்டலைகள் ஏற்படுகின்றன. நீர்மட்டமாகிய ஆ என்னும் இடத்திலே காற்றுத் துகள்கள் அசையமுடியாது. எனவே ஆ என்பது ஒரு முடியாகும்.



படம் 349

அ என்னும் திறந்த வாயினருகே காற்றுத் துகள்களின் வீச்சு உச்சநிலையை அடையும். இதனால் அ என்பது ஒரு எதிர்முடியாகும். படத்திலே இதனுள் ஒரு முழுக் கண்டத்தில் பாதியிருப்பதாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது. வரைந்துள்ள படம் குறுக்கலைகளுக்கே உரியதாயினும், விளக்கமாகத் தெரிவதற்காக நெட்டலைகள் குறுக்கலைகள் போலக் காட்டப்பட்டன. அடுத்துள்ள இரண்டு முடிகளின் இடைத்தூரம் அலை நீளத்தில் பாதியாதலால், ஒரு முடிக்கும் அடுத்துள்ள எதிர் முடிக்கும் இடைத்தூரம் அலை நீளத்திற் காற்பங்காகும். எனவே அ ஆ என்பது $\frac{\lambda}{4}$ க்குச் சமமாகும். ஆனால் $V = n\lambda$. இதிலே V என்பது காற்றிலே ஒலி அலைகளின் வேகமாகும். n என்பது அலைகளின் அடுக்கத்தைக் காட்டும். எனவே ஒலியலைகளின் வேகம் $V = 4nl$ என்று ஆயிற்று. இதிலிருந்து ஒரு இசைக் கவட்டினோடு உடனியங்கும் காற்றுநிரையின் நீளம்

அடுக்கத்திற்கு எதிர்விகிதமானது என்று தெரிந்து கொள்ளலாம். இசைக்கவட்டின் அடுக்கம் அதிகரித்தால் அதனோடு உடனியங்கக்கூடிய காற்றுநிரையின் நீளம் குறுகும்.

திறந்த முனைக்காகச் செய்யவேண்டிய திருத்தம்:— நாம் காற்றுநிரையின் எதிர்முடி குழாயின் வாயோடு பொருந்துவதாகக் கொண்டோம். ஆனால் எதிர்முடியோ இசைக்கவட்டின் கிளைகளுக்கருகே, இத்திறந்த வாய்க்கு மேலே சிறிது உயரத்திலே இருக்கும். வட்டமான வெட்டுவாயையுடைய குழாய்களிலே இந்த எதிர்முடி திறந்தவாயின் விளிம்புக்கு மேலே $\cdot 6r$ என்ற தூரத்திலே இருப்பதாகக் கணக்கிட்டிருக்கிறார்கள். ஆகையால் மேலே கண்ட பரிசோதனையிலே முடிக்கும் எதிர் முடிக்கும் இடைத் தூரம் l மட்டுமல்லாமல் $(l+\cdot 6r)$ ஆகும். இதனால் அலைநீளம் $4(l+\cdot 6r)$ ஆகும். ஒலி அலைகளின் வேகத்திற்கு $V=4n\,(l+\cdot 6r)$ என்பதே திருத்தமான வாய்பாடு ஆகும்.

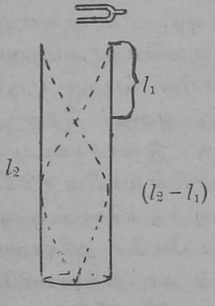
ஒலியின் வேகத்தைக் காண :—

1. காற்றில்:—நீண்டதொரு கண்ணடிச் சாடியிலே தண்ணீரை நிரப்பிவைக்கவும். ஏறக்குறைய அதே நீளம் கொண்டதும் சற்றுக் குறுகிய வாயையுடையதுமான தொரு கண்ணடிக்குழாயின் பெரும் பகுதியைத் தண்ணீரினுள்ளே முழுக்கி, அதைச் செங்குத்தாகப் பிடித்துவைக்கவும். ஒரு இசைக்கவட்டின் கிளைகளைத் தட்டிவிட்டு அவை குழாயின் வாயினருகிலே நிற்கும்படி பிடிக்கவும். கவடு துடித்துக்கொண்டிருக்கும்போதே மெதுவாகக் குழாயை மேலே தூக்கவும். முதலில் பிறவயமான துடிப்புகளால் காற்றுநிரையிலே சிறிது ஒலியெழும். பின்னர், ஒரு நிலையிலே உடனியக்கம் ஏற்பட்டு முழக்கம் பெரிதாகும். முழக்கம் உச்ச

நிலையை அடையும்போது, தண்ணீர் மட்டத்திற்குமேல் நீண்டிருக்கும் குழாயின் நீளத்தை அளவிட்டுக்கொள்ளவும். அதை l செ. மீ. என்று கொள்வோம். குழாயின் உள் ஆரத்தையும் அளந்துகொள்ளவும். இதை r என்று கொண்டால், உடனியக்கத்தை மேற்கொண்ட காற்று நிரையின் திருத்தப்பட்ட நீளம் $(l + \cdot 6r)$ ஆகும். அறையின் சூட்டிலேயுள்ள காற்றில் ஒலியின் வேகம் $V = 4n\ (l + \cdot 6r)$ ஆகும். ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடுவதற்கு இது ஒரு முறையாகும். இங்கே நாம் திறந்த முனைக்குரிய திருத்தம் $\cdot 6r$ என்று கொண்டோம். இந்தத் திருத்தத்தை நீக்கிவிட்டே ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடுவதற்கு மற்றொரு முறையும் உண்டு.

அதைச் செய்யும் முறை வருமாறு :—

முன்பு செய்தது போலவே உடனியக்க நிலையைக் கண்டு, குழாயின் நீளமாகிய l_1-ஐ அளவிட்டவுடன், குழாயைப் பின்னும் மேலே மெதுவாகத் தூக்கிக் கொண்டே வந்தால், இரண்டாவது உடனியக்க நிலையொன்றைக் காணலாம். இப்போது நீர்மட்டத்திற்கு மேலே நீண்டிருக்கும் குழாயின் நீளம் l_2-வைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். இது முன்கண்ட l_1-ஐப் போல ஏறக்குறைய மூன்று மடங்கு இருப்பதைக் காணலாம். இப்போது உடனியக்கம் ஏற்படுவது எவ்வாறு என்பதை (படம் 350) ஒருவாறு விளக்குகிறது. குழாயினுள்ளே இரண்டு முடிகளும் இரண்டு எதிர் முடிகளும் ஏற்படுகின்றன. படத்தில் கண்டவாறு



படம் 350

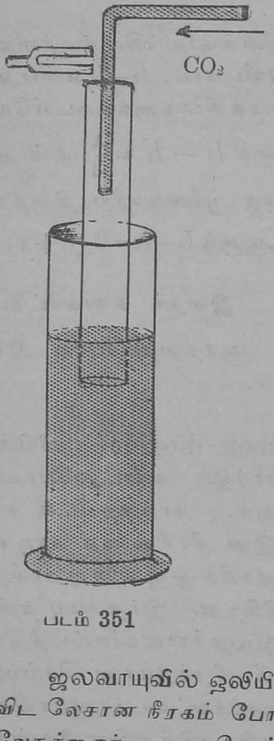
$(l_2 - l_1)$ என்பது இரண்டு முடிகளிடைத் தூரமாகும். இதுவே அலைநீளத்தில் பாதியாகும். எனவே $(l_2 - l_1) = \frac{\lambda}{2}$ என்பது திருத்தமான தொடர்பாகும். இதிலே திறந்த முனைக்கு வேண்டிய திருத்தம் சிறிதளவும் இல்லை. நிற்க $V = n\lambda$. n என்பது இசைக்கவட்டின் அடுக்கமானால் காற்றிலே ஒலியின் வேகம் $V = 2n(l_2 - l_1)$ ஆகும்.

இதிலிருந்து திறந்த முனைக்குரிய திருத்தத்தை பரிசோதனையினால் கணக்கிட்டுவிடலாம். $l_2 - l_1$ என்பது அடுத்துள்ள இரண்டு உடனியக்க நிலைகளுக்கிடையிலே குழாயின் நீள வேற்றுமையானால் $l_2 - l_1 = \frac{\lambda}{2}$ என்று கண்டோம். x என்பது திறந்த முனைக்குரிய திருத்தமானால் $l_1 + x = \frac{\lambda}{4}$ ஆகும். ஆனால் $l_2 - l_1 = 2(l_1 + x)$; அல்லது $x = \frac{l_2 - 3l_1}{2}$ ஆகும். இதைக் கணக்கிட்டுப் பார்த்தால் இது குழாயின் ஆரத்தைப்போல 0·6 மடங்கு இருப்பது தெரியவரும்.

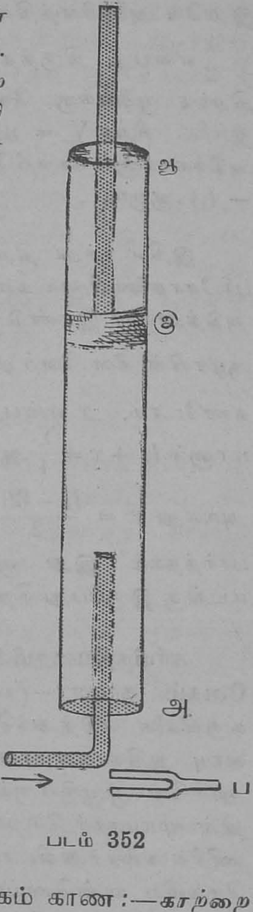
கரியிருதீயதையில் (carbon dioxide) ஒலியின் வேகம் காண:—(படம் 351)இல் கண்டதுபோலக் கருவிகளை எடுத்துக்கொள்ளவும். காற்றைவிடக் கரிவாயு அதிக கனமானது. இது நீர்நிறைந்த சாடியினுள்ளே முழுகியிருக்கும் குழாயில் ஒரு வளைவு நாளத்தின் மூலமாகச் செலுத்தப்படுகிறது. இந்த வாயு தண்ணீரில் கரைந்துவிடாமல் இருப்பதற்காக நீர்மட்டத்தில் மெல்லிய எண்ணெய்ப் படலம் மிதக்குமாறு செய்யப்படும். துடிக்குமொரு இசைக்கவட்டைக் குழாயின் வாயினருகே பிடித்துக்கொண்டு, அடுத்துள்ள இரண்டு உடனியக்கநிலைகளைக் கண்டு அவற்றிலே குழாயின் நீளங்

களாகிய l_1, l_2 என்பன அளக்கப்படும். முன்னே நாம் கண்டது போலவே ஒலியின் வேகம் $V = 2n(l_2 - l_1)$ ஆகும்.

இங்கே நாம் கண்டது அறையின் சூட்டைக்கொண்டுள்ள கரியிருதீயதையில் ஒலி அலைகளின் வேகமாகும்.



படம் 351



படம் 352

ஜலவாயுவில் ஒலியின் வேகம் காண :—காற்றைவிட லேசான நீரகம் போன்றதொரு வாயுவில் ஒலியின் வேகத்தைக் காணவேண்டியிருக்கிறதென்று கொள்வோம். (படம் 352). இதில் அ ஆ என்றதொரு

குழாய் செங்குத்தாக நிறுத்தப்படுகிறது. இ என்னும் அடைப்பான் இக்குழாயில் பொருந்தும்படியான அளவுள்ளது. இதனோடு சேர்க்கப்பட்டுள்ளதொரு குச்சியால் இதைக் குழாயினுள்ளே வேண்டிய இடத்திலே நிறுத்திக்கொள்ளலாம். கீழேயிருந்து ஒரு வளைவு நாளத்தின் மூலமாக இதனுள்ளே நீரகம் செலுத்தப்படும். ப என்னும் இசைக்கவட்டைத் தட்டிவிட்டுக் குழாயின் கீழ் வாயினருகே பிடித்து, அடைப்பானை மேலும் கீழும் நகர்த்தி, அடுத்துள்ள இரண்டு உடனியக்க நிலைகள் காணப்படும். வாயு நிரையின் நீளம் இவ்விரண்டு நிலைகளிலும் முறையே l_1, l_2 என்று கண்டால், வேகம் $V = 2n(l_2 - l_1)$ ஆகும். இதில் n என்பது கவட்டின் அடுக்கம். V என்பது அறையின் சூட்டைக் கொண்ட நீரகத்தில் ஒலியின் வேகம் என்று கொள்ளவும். இதிலே சிறிதளவு காற்றுக் கலந்துவிடுவதை முற்றும் தடுக்க முடியாதாகையால் இதிலே கண்ட மதிப்பு திருத்தமானதாய் இராது.

வாயுவில் ஒலியின் வேகம் அந்த வாயுவின் சூடு, இறுக்கம் ஆகியவற்றல் பாதிக்கப்படுதல்:—ஒரு வாயுவில் ஒலி செல்லும் வேகம் அந்த வாயுவினது இறுக்கத்தின் வருக்க மூலத்திற்கு ஏற்பவுள்ளது என்றும், அதன் செறிவினது வருக்க மூலத்திற்கு எதிர்விகிதமானது என்றும் நியூட்டன் கணக்கியலினுதவியால் காட்டினர். ஆனல் இதன் சரியான தொடர்பை லாப்லேஸ் (Laplace) என்னும் அறிஞரே கண்டறிந்து கூறினர். வாயுவின் இறுக்கம் P என்றும், அதன் செறிவு ρ என்றும், அதன் இரு வெப்ப உரிமைகளின் தகவு (ratio of the specific heats) γ என்றும் கொண்டால், அதிலே ஒலி செல்லும் வேகம் $V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$ என்று காட்டினர். காற்று, பிராணவாயு, நீரகம் போன்ற சாமா

னிய வாயுக்களிலே γ-வின் மதிப்பு சுமார் 1·41 ஆகும். இங்கே இறுக்கமென்று கூறியதை ச. செ. மீட்டருக்கு இத்தனை டைன்கள் என்று எடுத்துக்கூறவேண்டுமென்பதை நினைவுகூரவேண்டும்.

இறுக்கத்தினல் பாதிக்கப்படுதல் :—ஒரு வாயுவின் சூடு மாருதிருக்கும்போது இறுக்கம் வேறுபட்டால், அதன் செறிவும் அதற்கு ஏற்ப வேறுபடும். இதனுல் இறுக்கத்திற்கும் செறிவுக்குமுள்ள தகவு மாறிலியாக நிற்கும். இது பாயில் விதியை வேவெரு வகையிலே எடுத்துக் கூறுவதாகும். ஆகையால் சூடு மாருதிருக்கும்போது இறுக்கம் மட்டும் தனியே வேறுபடுவதால் $\left(\frac{P}{\rho}\right)$ என்பது மாறுபடாது. எனவே இம்மாறுபாட்டினல் ஒலியின் வேகம் பாதிக்கப்படாது. இதனுல் வாயுக்களிலே ஒலியின் வேகம் அவற்றின் இறுக்க மாறுபாட்டினல் பாதிக்கப்படுவதில்லை என்று கூறிவிடலாம்.

சூட்டினல் பாதிக்கப்படுதல் :—வாயுக்களிலே ஒலியின் வேகம் அவற்றின் சூட்டினல் பாதிக்கப்படுகிறது. $0°c$ சூட்டிலே ஒலியின் வேகம் V என்றும், $t°c$ அது V_t என்றும் கொள்வோம். பவனத்திலே சூடு அதிகரிப்பதால், மாருத இறுக்க நிலையிலே பெருக்கம் ஏற்பட்டு, இதனுல் காற்றின் செறிவு பாதிக்கப்படுகிறது. இறுக்கம் P என்று கொள்வோம். $0°c$ சூட்டிலே செறிவு d_o என்றும், $t°c$ சூட்டிலே செறிவு d_t என்றும் கொள்வோம்.

$$V_o = \sqrt{\frac{\gamma P}{d_o}}\,; \quad V_t = \sqrt{\frac{\gamma P}{d_t}}$$

அல்லது $\frac{V_t}{V_o} = \sqrt{\frac{d_o}{d_t}}$; ஆனல் $d_o = d_t\,(1 + \alpha t)$

இதிலே γ என்பது காற்றின் பெருக்கப்பான்மை.

$$d_o = d_t\left(1 + \frac{t}{273}\right). \text{ எனவே } \frac{V_t}{V_o} = \sqrt{\frac{273+t}{273}}$$

ஆனால் $(273 + t)$, 273 என்பன முறையே $t°C$-க்கும் $0°C$-க்கும் சரியான தனியியல் சூடுகள். இவற்றை முறையே T என்றும் T_o என்றும் குறிப்பிட்டால்

$$\frac{V_t}{V_o} = \sqrt{\frac{T}{T_o}}.$$

இதனால் காற்றில் ஒலி செல்லும் வேகம் தனியியல் சூட்டின் வருக்க மூலத்திற்கு ஏற்றது என்று தெரிகிறது.

சூட்டோடு ஒலியின் வேகம் அதிகரிக்கும் பான்மையைக் காட்டும் பல வேறு முறைகள் வருமாறு:

$$\frac{V_t}{V_o} = \sqrt{\frac{273 + t}{273}} = \sqrt{1 + \frac{t}{273}} = \left(1 + \frac{t}{273}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 1 + \left(\frac{1}{2} \times \frac{t}{273}\right).$$ இறுதியில் கண்ட வாய்பாட்டிலே $\left(\frac{t}{273}\right)$ என்னும் இராசியின் மேல் அடுக்குகள் (higher powers) ஒதுக்கப்பட்டுவிட்டன.

$$\frac{V_t}{V_o} = \left(1 + \frac{t}{546}\right) \therefore V_t = V_o\left(1 + \frac{t}{546}\right)$$

$$= V_o + \frac{V_o}{546}t.$$ வேகத்தைச் செகண்டுக்கு இத்தனை மீட்டர் என்று எடுத்துக் கூறவேண்டுமானால், $V_t = 332 + \frac{332}{546}\,t = 332 + \cdot 61\ t$ மீட்டர்/செக. ஆகும்.

எனவே காற்றின் சூடு ஒவ்வொரு பாகை அதிகரிக்கும்போதும், அதிலே ஒலி செல்லும் வேகம் ·61 மீட்டர் அல்லது 61 செ. மீட்டர் வீதம் அதிகரிக்கிறது.

இந்த வேகத்தைச் செகண்டுக்கு இத்தனை அடி யென்று எடுத்துக்கூற

$$V_t = 1089 + t\frac{1089}{546}$$ அடி/செக. என்று ஆகும்.

எனவே காற்றின் சூடு ஒவ்வொரு பாகை அதிகரிக்கும்போதும், அதிலே ஒலி செல்லும் வேகம் சுமார் 2 அடி வீதம் அதிகரிக்கிறது.

ஒரு இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தைக் காண:— ஒரு இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தைக் காண்பதற்கு உடனியக்கப் பரிசோதனையை ஒரு சாதனமாகக் கொள்ளலாம்.

ஒரு நீண்ட சாடியிலே தண்ணீரை நிரப்பி, ஒரு அகன்ற நீண்ட கண்ணுடிக் குழாயை அதனுள்ளே முழுக்கி நிறுத்திவைத்து, அடுக்கம் காணவேண்டிய இசைக்கவட்டைத் தட்டிவிட்டு அதைக் குழாயின் வாயினருகே பிடிக்கவும். அடுத்துள்ள இரண்டு உடனியக்க நிலைகளைக்கண்டு, அவை ஒவ்வொன்றிலும் தண்ணீருக்கு மேலே நீண்டிருக்கும் குழாயின் நீளத்தை அளவிட்டுக்கொள்ளவும். அவை முறையே l_1, l_2 என்று கொண்டால் $l_2 - l_1 = \frac{\lambda}{2}$. இதனுல் அறையினது சூட்டைக் கொண்ட காற்றிலே ஒலி அலையின் நீளம் காணப்பட்டது. $0°c$ சூட்டில் ஒலியின் வேகத்தை அட்டவணைகளிலிருந்து கண்டுகொள்ளவும். அது V_o என்று கொண்டால் $t°c$ என்னும் அறையினது சூட்டிலே ஒலி அலைகளின் வேகம் $V_t = V_o \sqrt{\frac{t + 273}{273}}$ ஆகும்.

$V_t = n\lambda = 2n\,(l_2 - l_1)$ ஆகையால் இசைக்கவட்டின் அடுக்கமாகிய

$$n = \frac{V_t}{2(l_2 - l_1)}$$ ஆகும்.

காற்றிலே ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டறியாமலே இரண்டு இசைக்கவடுகளின் அடுக்கங்களை ஒப்பிடக் கூடும். முதல் உடனியக்க நிலையிலே ஒவ்வொரு கவட்டையும் வைத்தபோது, குழாயின் நீளம் முறையே l_1, l_1' என்று கண்டதாகக் கொள்வோம். இசைக்கவடுகளின் அடுக்கங்கள் முறையே n, n' என்றும், அவற்றிற்குரிய ஒலி அலைகளின் நீளங்கள் λ, λ' என்றும் கொள்வோம். இப்போது V என்பது காற்றிலே ஒலியின் வேகம் என்றும், r என்பது குழாயின் ஆரமென்றும் கொண்டால்,

$$V = n\lambda = n'\lambda'$$

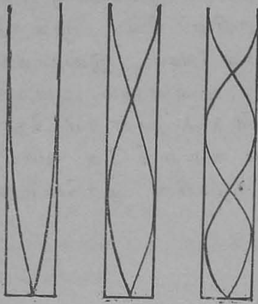
$$\text{ஆகையால்} \quad \frac{n}{n} = \frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{4\,(l_1' + \cdot 6r)}{4\,(l_1 + \cdot 6r)}$$

$$= \frac{l_1' + \cdot 6r}{l_1 + \cdot 6r}$$

குழாய்களிலே காற்றுநிரைகள் துடிக்கும் வகைகள் :—தந்திகளில் நிலையான துடிப்புகள் ஏற்பட்டபோது அவற்றின் இரு முனைகள் எப்போதும் முடிகளாகவே இருக்கவேண்டுமென்றும், ஒவ்வொரு தந்தியும் பலவேறு எண்ணிக்கைகள் கொண்ட கண்டங்களாகப் பிரிந்து துடிக்கக்கூடுமென்றும், இவ்வாறு துடிப்பதாலேயே பிரதம சுருதியின் பரிவாரங்கள் தோன்றுகின்றன வென்றும் கண்டோம். இவ்வாறே குழாய்களிலுள்ள காற்றுநிரைகளும் தமது பிரதம துடிப்புடனே இன்னும் பலவேறு கண்டங்களாகப் பிரிந்து துடிக்கவும் கூடும். இவை ஒவ்வொன்றும் தனித்தனியான ஸ்வரங்களை வெளியிடும்.

ஒரு புறம் மூடிய குழாய் :— இத்தகைய குழாய்களிலே எப்போதும் மூடிய வாய் முடியாகவும் திறந்துள்ள வாய் எதிர் முடியாகவுமே இருக்கும். இதிலே

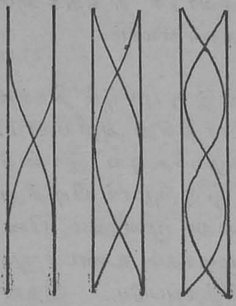
மிக எளிய துடிப்பு, குழாயின் நீளத்தை ஒரு கண்டத்தில் பாதியாகக் கொண்டு நிகழ்வதாகும். இது (படம் 353) இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. மற்றும் இதே காற்று நிரை $1\frac{1}{2}$ கண்டமாகவும், $2\frac{1}{2}$ கண்டமாகவும் துடிக்கும் வகைகளும் படத்திலே காட்டப்பட்டுள்ளன. முதல் வகையிலே குழாயின் நீளம் $\frac{\lambda}{4}$ ஆகும். இதில் λ என்பது அலை நீளம். இதில் அடுக்கம் $n = \frac{v}{4l}$ ஆகும்.



படம் 353

அடுத்த வகையிலே $l = \frac{3\lambda_1}{4}$; அடுக்கம் $n_1 = \frac{3v}{4l}$ ஆகும். ஆகையால் $n_1 = 3n$ ஆகும். எனவே இது பிரதம அடுக்கத்தைப்போல மூன்று மடங்கு கொண்டதாகும். இதன்படியே அடுத்த வகையிலே $2\frac{1}{2}$ கண்டங்கள் கொண்டிருப்பதால், $l = \frac{5\lambda_2}{4}$ அல்லது $\lambda_2 = \frac{4l}{5}$ ஆகும். இதன் அடுக்கம் $n_2 = \frac{5v}{4l}$ ஆகும். இது பிரதம அடுக்கத்தைப் போல ஐந்து மடங்கு கொண்டது. இவ்வாறே பின்னும் சிக்கலான துடிப்பு வகைகளிலே, அடுக்கங்கள் பிரதம அடுக்கத்தைப்போல முறையே 7, 9, 11, ... மடங்கு கொண்டிருப்பதைக் காணலாம். இவையெல்லாம் பிரதம சுருதியின்பரிவாரங்கள் அல்லது பரிவாரச் சுருதிகள் எனப்படும். இதிலிருந்து ஒரு புறம் மூடியுள்ள குழாயிலே, ஒற்றைப்படையான பரிவாரச் சுருதிகளே தோன்றக்கூடும் என்று தெரிந்துகொள்ளலாம்.

இருபுறமும் திறந்த குழாய் :—இந்த குழாயின் நீளம் l என்று கொள்வோம். இதன் இருபுறமும் திறந்திருப்பதால் அங்கே எதிர்முடிகள் மட்டுமே தோன்றக்கூடும். இதிலே ஏற்படக்கூடிய எளிய துடிப்பு வகையாவது, இரு முனைகளிலும் உள்ள எதிர்முடிகளினிடையே ஒரேயொரு முடியினைக் கொண்டதொரு துடிப்பாகும். இது (படம் 354)இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதற்கு மேலே படிப்படியாய் சிக்கல் மிகுந்த துடிப்புகள் தோன்றுவது அடுத்துள்ள படங்களிலே காட்டப்பட்டுள்ளன.



படம் 354

மிக எளியதான முதல் பிரதம துடிப்பிலே குழாயின் நீளம் $l = \frac{\lambda}{2}$ என்பது தெளிவு. இதன் அடுக்கம் $n = \frac{v}{2l}$. இதுவே பிரதான அடுக்கமாகும். இதனுல் ஒரு புறம் திறந்துள்ள குழாயின் பிரதம சுருதியைவிட, இரு புறமும் திறந்துள்ள அதே நீளங் கொண்ட குழாயின் பிரதம சுருதி ஒரு ஸ்தாயி மேலே உயர்ந்திருக்குமென்று தெரிந்துகொள்ளலாம். இதற்கடுத்த சிக்கலான வகையிலே குழாயினுள்ளிருக்கும் காற்றுநிரை இரண்டு கண்டங்களாகத் துடிக்கின்றது. இப்போது அலை நீளம் λ_1 என்று கொண்டால், $l = \lambda_1$ ஆகும். இதற்குரிய அடுக்கம் $n_1 = \frac{v}{l}$. அதாவது n $n_1 = 2n$ ஆகும். இப்படியே இதற்கடுத்த சிக்கலான துடிப்பிலே காற்றுநிரை மூன்று கண்டங்களாகத் துடிப்பதால், $l = \frac{3\lambda_2}{2}$ ஆகும். அடுக்கம் $n_2 = \frac{3v}{2l}$ என்றுகும். எனவே $n_2 = 3n$. இப்படியே இதற்கு மேற்பட்ட

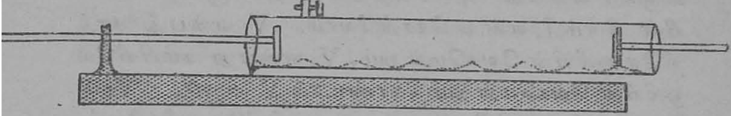
அடுக்கங்கள் முறையே $4n$, $5n$, $6n$........ஆகுமென்று காட்டலாம். இதனால் இரு புறமும் திறந்த குழாயிலே பிரதம சுருதியோடு எல்லாப் பரிவாரச் சுருதிகளும் தோன்றக்கூடுமென்று தெரிந்துகொள்ளலாம்.

காற்றிலே ஒலியின் வேகத்தை இரு புறமும் திறந்த தொரு குழாயைக் கொண்டும் பரிசோதித்து அறியலாம். இதிலே ஒன்றினுள்ளொன்று நுழையக்கூடிய இரண்டு குழாய்கள் கையாளப்படுகின்றன. ஒரு குழாய் பிடித்து நிறுத்தப்பட்டிருக்கும். மற்றொன்று முன்னும் பின்னும் நகர்த்தப்பட்டு, உடனியக்க முழக்கம் உண்டாகும் வண்ணம் அவற்றின் நீளம் சரிப்படுத்தப்படும். இதன் செயல்முறை ஒரு புறம் மூடிய குழாயின் செயல்முறையைப் போன்றதேயாகும்.

சட்டங்களிலேற்படும் நேட்டுத் துடிப்புகள் :— தடித்த ஒரு பித்தளைக் கம்பி அல்லது கண்ணாடிக் கம்பியை நடுவிலே இறுகப்பிடித்து வைத்து, ஒரு துணியை ரோசனத்தூளிலே தோய்த்தெடுத்துக் கம்பியின் ஒரு புறத்தை உருவினால், அதில் நெட்டுத் துடிப்புகள் ஏற்படும். இத்துடிப்பிலே, பிடித்து வைக்கப்பட்ட இடம் முடியாகவும், இரு முனைகளும் எதிர் முடிகளாகவும் நிற்கும். இது இரு புறமும் திறந்த குழாயின் பிரதமத் துடிப்பை ஒத்திருக்கும். வெளி யிடப்பட்ட ஸ்வரத்தின் அலைநீளம் λ என்றும், கம்பியின் நீளம் l என்றும் கொண்டால், $l = \frac{\lambda}{2}$ அல்லது $\lambda = 2l$ ஆகும். ஒலியின் வேகம் V என்றும், ஸ்வரத்தின் அடுக்கம் n என்றும் கொண்டால், $V = n\lambda$ ஆகும். ஆகையால் $V = 2nl$ என்று கூறலாம். எனவே இந்த ஸ்வரத்தின் அடுக்கத்தைக் கண்டுபிடித்தால் V-யைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். ஒரு குழாயிலுள்ள காற்று

நிரையை இந்த ஸ்வரத்தோடு உடனியங்கச் செய்து இந்த ஸ்வரத்தின் அடுக்கத்தைக் கணக்கிடலாம்.

ஒரு சட்டத்திலே ஒலி செல்லும் வேகத்தைக் கணக்கிட :—சுமார் ஒரு மீட்டர் நீளமும் 5 செ. மீட்டர் விட்டமும் கொண்ட வெட்டுவாயையுடையதொரு கண்ணாடிக் குழாயை எடுத்து, அதனுட்புறத்தை ஒரு புன்ஸன் சுவாலையினுதவியால் நன்ருக உலரச்செய்யவும். இதன் ஒரு புறத்தை ஒரு அடைப்பானல் அடைத்து விட்டு, இதனுள்ளே சன்னமான மரத்தூள் அல்லது



படம் 355

அடைப்பான் தூளைத் தூவி வைக்கவும். (படம் 355). இதைச் சிறிதே உருட்டி இத்தூளெல்லாம் சுவர்களிலே ஒட்டி நிற்கும்படி செய்யவும். கம்பியின் ஒரு முனையிலே குழாயின் வாயைவிடச் சற்றே சிறிதும், வட்டவடிவுள்ளதுமான அடைப்பானைச் செருகி வைத்து, இந்த முனையை அடைப்பானுடனே குழாயினுள் சிறிது தூரம் நுழைத்து வைக்கவும். இக்கம்பியின் நடுப்பகுதியை இறுக்கமாகப் பிடித்துக் கம்பியின் மற்றொரு முனையை ரோசனத்தூளிலே தோய்த்த துணியினல் அல்லது தோலினல் பிடித்து உருவிவிடவும். இதனல் கம்பியினின்றும் ஒரு ஸ்வரம் வெளிப்படும். கம்பியின் நெட்டுத் துடிப்பு, குழாயினுள்ளிருக்கும் காற்றுநிரையிலும் நெட்டுத் துடிப்புகளை உண்டாக்கும். இவ்வலைகள் குழாயின் மற்றொரு முனையிலுள்ள அடைப்பானிலே மோதிப் பிரதிபலித்துமீண்டுவரும். இப்போது குழாயைச் சிறிது சிறிதாகக் கம்பியை நோக்கி நகர்த்திக்

கொண்டே, அவ்வப்போதும் கம்பியை உருவி வந்தால், ஒரு நிலையிலே கம்பியின் துடிப்புக்கும் குழாயினுள்ளிருக்கும் காற்றுநிரைக்கும் உடனியக்கம் ஏற்பட்டுப் பெருமுழக்கம் உண்டாகும். இப்போது உள்ளே தூவியிருந்த தூள்களெல்லாம் சிறு சிறு மேடுகளாகக் குவிந்து நிற்கும். இவையெல்லாம் முடிகள் நிற்குமிடங்களிலே ஏற்படுவனவாம். இதனால் பல முடிகள் நன்றாகவிளக்கமாகத் தெரியும். நடுவிலுள்ள ஏதேனுமிரண்டு முடிகளின் இடைத்தூரத்தை அளந்து, அவற்றின் நடுவிலுள்ள இடைவெளிகளின் எண்ணிக்கையால் வகுக்க வரும் l என்பது அலைநீளத்தில் பாதியாகும். கம்பியின் நீளம் L என்று கொள்வோம். V என்பது காற்றிலே ஒலியின் வேகமென்றும், V_1 என்பது கம்பியிலே ஒலியின் வேகமென்றும் கொண்டால் $V = n\lambda$, $V_1 = n\lambda_1$ ஆகும். இங்கே λ_1 என்பது கம்பியிலே அலைநீளம். எனவே $\lambda_1 = 2L$ ஆகும். இவ்வாறே λ என்பது காற்றிலே அலை-நீளம். எனவே $\lambda = 2l$ ஆகும். ஆனால் $\frac{V_1}{V} = \frac{\lambda_1}{\lambda}$. ஆகையால் $\frac{V_1}{V} = \frac{L}{l}$ ஆகும். எனவே,

$$\frac{\text{கம்பியிலே ஒலியின் வேகம்}}{\text{காற்றிலே ஒலியின் வேகம்}} = \frac{\text{கம்பியின் நீளம்}}{\text{தூள் குவியல்களின் இடைவெளி}}$$

காற்றிலே ஒலியின் வேகம் தெரிந்திருந்தால் கம்பியிலே ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

காற்றிலே ஒலி செல்லும் வேகத்தையும் மற்றொரு வாயுவிலே ஒலி செல்லும் வேகத்தையும் ஒப்பிடுதல் :—மேலே கண்ட முறையினால் காற்றிலே ஒலி செல்லும் வேகத்தோடு கரியிருதீயதை அல்லது நீரகம் போன்ற மற்றொரு வாயுவிலே ஒலி செல்லும் வேகத்தை ஒப்பிடலாம். இதற்காகக் குழாயினிருபுறமும் இரண்டு இணைக்குழாய்களை இணைக்கவேண்டும். ஒன்று வாயுவை உட்செலுத்துவதற்கும் மற்றொன்று உள்ளே

யிருக்கும் காற்றை வெளியேற்றுவதற்குமாகக் கொள்ள வேண்டும். முதலில் காற்றுடனே மேலே கண்ட பரிசோதனையைச் செய்துமுடிக்கவும். பிறகு மற்றொரு வாயுவை உட்செலுத்திக் குழாயிலிருக்கும் காற்றையெல்லாம் முற்றும் வெளியேற்றிவிடவும். மறுபடியும் முன் செய்தவாறே கம்பியை உருவிவிட்டு, உடனியக்க முழக்கம் உண்டாகும்படியாகக் குழாயின் நீளத்தைச் சரிப்படுத்தி வைத்து, அடுத்துள்ள இரண்டு தூள் குவியல்களுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தைக் காணவும். காற்றிலே இந்த இடைவெளி l என்றும், வாயுவிலே இதே இடைவெளி l_1 என்றும் கொள்வோம். V, V_1 என்பன முறையே காற்றிலும் வாயுவிலும் ஒலி செல்லும் வேகங்களென்று கொண்டால்

$$\frac{V_1}{V} = \frac{\text{வாயுவிலே அலைநீளம்}}{\text{காற்றிலே அலைநீளம்}}$$

$$= \frac{l_1}{l} \text{ என்பது தெளிவு.}$$

காற்றிலே ஒலியின் வேகத்தினளவு தெரிந்திருந்தால் வாயுவிலே ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

உதாரணம் 1. ஒரு இசைக்கவட்டினாலே உண்டாகும் அலைகளின் நீளம் காற்றிலே 5 அடி; தண்ணீரிலே 20 அடி. காற்றிலே ஒலியின் வேகம் 330 மீட்டர்/செக. தண்ணீரிலே ஒலியின் வேகம் யாது?

அலையின் வேகத்தை v என்றும் அதன் அடுக்கத்தை n என்றும், அதன் அலைநீளத்தை λ என்றும் குறித்தால் $v = n\lambda$ ஆகும்.

காற்றிலே $v_1 = n\lambda_1$............(1) என்றும்,

தண்ணீரிலே $v_2 = n\lambda_2$.........(2) என்றும் கொள்வோம்.

முதல் சமீகரணத்திலிருந்து n-ன் மதிப்பைக் கண்டு அதை இரண்டாவது சமீகரணத்தில் இடுவோம்.

$$v_2 = \frac{v_1 \lambda_2}{\lambda_1}$$

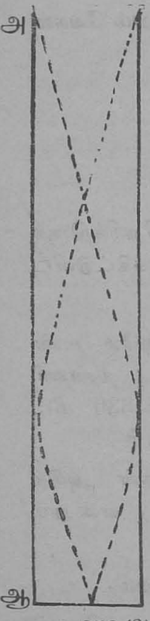
படம் 356 (1)

கணக்கிலே கண்ட இராசிகளை இதில் இடவே தண்ணீரில் ஒலியின் வேகம்

$$v_2 = \frac{320 \times 20}{5} = 1320 \text{ மீட்டர்/செக.}$$

ஆகும்.

உதாரணம் 2. ஒரு அகன்ற கண்ணாடிக்குழாய் செங்குத்தாக ஒரு முனை நீரிலே இருக்குமாறு பிடிக்கப்பட்டது. இதனுள்ளிருக்கும் காற்று ஒரு இசைக்கவட்டியோடு உடனியங்குவது தெரிந்தது. இக்குழாயைப் பின்னும் 30 செ. மீ. வெளியே இழுத்த பின்னரும் இதே உடனியக்கம் நிகழ்ந்தது. இந்நிகழ்ச்சியை விளக்கி இசைக் கவட்டின் அடுக்கத்தைக் காண்க.



படம் 356 (2)

முதல் தடவையில் குழாயிலேற்பட்ட ஒலி அலையின் காற்பகுதி மட்டும் அதனுள் அகப்பட்டிருந்தது. நீர்மட்டமாகிய ஆ என்னும் மூடிய முனை, காற்றுத் துகள் அசைய இடமில்லாமையால் ஒரு முடியாயிற்று. அ என்ற திறந்த வாயினருகே காற்றுத்துகள் உச்சநிலை வீச்சிேனாடு துடிக்கக்கூடுமாகையால் இம்முனை ஒரு எதிர்முடியாயிற்று. (படம் 356 (1)). எனவே குழாயின் நீளம் l_1 என்றும், அலையின் நீளம் λ என்றும் கொண்டால் $l_1 = \frac{\lambda}{4}$ ஆயிற்று.

இரண்டாவது தடவையில் படத்தில் கண்டவாறு (படம் 356 (2)) அலையில் முக்காற்பாகம் குழாயினுள்ள டங்கிற்று. ஆ ஒரு முடியாகவும் அ ஒரு எதிர்முடியாக வும் நின்றதோடு, இடையிலே இ என்ற இடத்தில் மற் ருெரு முடியுண்டாயிற்று. எனவே குழாயின் நீளம் இப்போது l_2 என்று கொண்டால், $l_2 = \frac{3\lambda}{4}$ ஆயிற்று.

எனவே கணக்கின்படி

$$30 = l_2 - l_1 = {}^{3\lambda} - \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$$

அல்லது $\lambda = 60$ செ. மீ.

காற்றில் ஒலி அலையின் வேகம் $v = 330$ மீட்டர்|செக.

$= 330 \times 100$ செ. மீ.|செக.

ஒலி அலையின் அடுக்கம் n ஆனல் $v = n\lambda$.

அதாவது $330 \times 100 = n . 60$.

ஆகையால் அலையின் அடுக்கம்

$n = \frac{330 \times 100}{60} = 550$. எனவே இசைக்கவட்டின் அடுக்கமும் 550 ஆகும்.

உதாரணம் 3. 256 அடுக்கம் கொண்டதொரு இசைக்கவடு ஒரு ஊதுகொம்பைவிட தாழ்ந்த சுருதி கொண்டது. இரண்டையும் சேர்த்து ஒலித்தால் செகண்டுக்கு 6 விம்மல்கள் உண்டாகின்றன. இரண் டையும் ஒன்றுபடுத்தவேண்டுமானல் ஊதுகொம்பின் நீளத்தை எவ்வளவு மாற்றவேண்டும்? காற்றில் ஒலி யின் வேகம் 332 மீட்டர்|செக.

இரண்டு கருவிகளின் அடுக்க வேற்றுமையே விம் மலின் அடுக்கமாகும். ஆகையால் (ஊதுகொம்பின்

அடுக்கம் — இசைக்கவட்டின் அடுக்கம் 256) = விம்ம லின் அடுக்கம் = 6.

ஆகையால் ஊதுகொம்பின் அடுக்கம்
$256 + 6 = 262$ ஆகும்.

கொம்பிலிருந்து வரும் ஒலி அலையின் வேகம்
332 மீட்டர்/செகண்டுக்கு.

அதன் அடுக்கம் 262. ஆகையால் அந்த அலையின் நீளம் $\frac{33200}{256} = 126{\cdot}7$ செ. மீ. இசைக்கவட்டிலிருந்து வரும் அலையின் அடுக்கம் 256. ஆகையால் அதன் நீளம் $\frac{33200}{262} = 129{\cdot}7$ செ. மீ.

கொம்பு தனது பிரதான சுருதியை வெளியிடுவ தானல் அதன் நீளம் ஒலி அலையின் நீளத்தில் பாதிப் பங்காகும். எனவே இசைக்கவட்டிேைடு ஒன்றுபட வேண்டுமானல் கொம்பின் நீளம் $\frac{129{\cdot}7 - 126{\cdot}7}{2} = 1{\cdot}5$ செ. மீ. மாற்றவேண்டும்.

வினக்கள்

1. 'உடனியக்கம்' எவ்வாறு ஏற்படுகிறது என்பதைக் குறைந்தது மூன்று உதாரணங்களை எடுத்துக் கூறி விளக்குக.

உடனியக்க முறையினலே காற்றில் ஒலியின் வேகத்தை எவ்வாறு காணலாமென்று எடுத்துக்கூறுக.

(அண்ணமலை : 1932)

2. இருபுறமும் திறந்துள்ள ஒரு குழாயின் ஒரு முனை செங்குத்தாகத் தண்ணீரிலே முழுக்கப்படுகிறது. இதன் மேல்வாயினருகே ஒரு இசைக்கவடு தட்டிப் பிடிக்கப்பட்டது. சில நிலைகளிலே ஏன் ஒலியின் முழக்கம் அதிகமாகிறது என்பதை விளக்குக. இதைக் கொண்டு காற்றிலே ஒலியின் வேகத்தை எவ்வாறு காணலாமென்று காட்டுக.

(சென்னை : அக். 1929)

3. 'அலைநீளம்', 'அடுக்கம்' என்னும் பதங்களுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. ஒரு உயர்ந்த கண்ணடிச் சாடி, ஒரு பாத்திரத்திலே தண்ணீர், 256 அடுக்கம் கொண்டதொரு இசைக்கவடு ஆகிய இவற்றைக் கொண்டு மற்றொரு இசைக்கவட்டின் அடுக்கத்தை எவ்வாறு காணலாம்?

(சென்னை : அக். 1924)

4. ஒலியியலிலே வழங்கும் 'அலைநீளம்' என்னும் பதத்திற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

உடனியக்கத்தைக்கொண்டு கரியிருதீயதை போன்றதொரு வாயுவிலே ஒலியின் வேகத்தை எவ்வாறு கணக்கிடலாம்.

(சென்னை : செப். 1925)

5. ஒரு உயர்ந்த சாடியின் வாய்க்கருகே ஒரு இசைக்கவட்டைத் தட்டிப்பிடித்துக்கொண்டு, சாடியினுள்ளே தண்ணீரைப் பெய்ய, ஒரு நிலையிலே ஒலியின் முழக்கம் உச்சநிலையை அடைந்தது. இப்போது தண்ணீர் பெய்வதை நிறுத்தி, அதனுள்ளே கரியிருதீயதை நிரப்பவே, முழக்கம் உச்சநிலையை அடைவதற்குச் சாடியிலே பின்னும் தண்ணீரைப் பெய்யவேண்டியிருந்தது. காற்றிலே ஒலியின் வேகம் தெரிந்திருந்தால், இப்பரிசோதனையைக் கொண்டு எவ்வாறு அவ்வாயுவிலே ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடக்கூடுமென்பதை விளக்குக.

(சென்னை : செப். 1923)

6. உடனியக்கத்தைக்கொண்டு காற்றில் எவ்வாறு ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாமென்று விவரித்துக் கூறுக.

(சென்னை : அக். 1929)

7. நிலையான அலைகள் எவ்வாறு தோன்றுகின்றன என்பதை விளக்குக. தனது முதல் பரிவார சுருதியை வெளியிடுமொரு ஊதுகொம்பிலேற்படும் துடிப்பு அமைப்பை விளக்குக. முடிகளின் நிலைகளைப் பரிசோதனையால் எவ்வாறு காட்டலாம்?

(லண்டன் : ஜூலை 1932)

8. கரியிருதீயதையில் ஒலியின் வேகத்தை எவ்வாறு காணலாமென்று விவரித்துக்கூறுக.

320 அடுக்கம் கொண்டதொரு இசைக்கவட்டினோடு 27°c சூடுகொண்டதொரு காற்றுநிரை உடனியங்குகிறது. அதே காற்றுநிரை 21°c சூட்டிலே மற்றொரு இசைக்கவட்டினோடு உடனியங்குகிறது. இந்த இரண்டு இசைக்கவடுகளும் ஏக காலத்தில் இசைத்தால் செகண்டுக்கு எத்தனை விம்மல் தோன்றும். (சூட்டினாலே இசைக்கவட்டின் அடுக்கம் மாறுபடவில்லை என்று கொள்ளவும்).

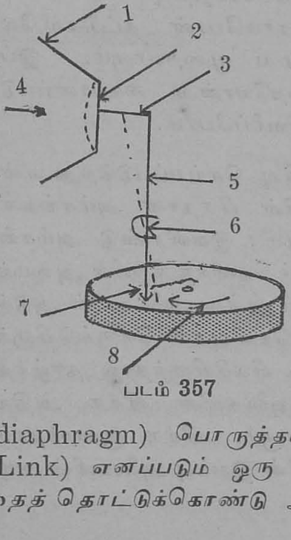
(மைசூர் : 1933)

அத்தியாயம் 6

ஒலிப்பதிவு (Sound recording)

ஒலிப்பதிவு செய்யும் முறை :—இசைத்தட்டுகளை நாம் ஒவ்வொருவரும் பார்த்திருக்கிறோம். அரக்கினாலாகிய இத்தட்டுகளிலே, வளைவான கீறல் ஒன்று விளிம்பிலிருந்து கிளம்பி, வட்டமாகச் சுருண்டு, மையத்தை நோக்கி உட்செல்லுவதைக் காணலாம். ஒரு சாமானிய அணுதரிசனியைக் கொண்டு இக்கீறலைப் பரிசோதித்தால் அது வளைந்து சுருண்டு செல்வதோடு அல்லாமல் நெளிந்து செல்வதையும் காணலாம். இது எவ்வாறு செய்யப்பட்டது என்பதை விளக்குவோம்.

(படம் 357)இல் கண்டவாறு புனல்போன்ற வாயினடிப்புறத்திலே, ஒரு துடிக்கும்படியான விதானம்



1 புனல்
2 விதானம்
3 கணு
4 ஒலி அலைகள்
5 நெம்புகோல்
6 பூட்டு
7 ஊசிமுனை
8 சுழலும் அரக்கு வட்டில்

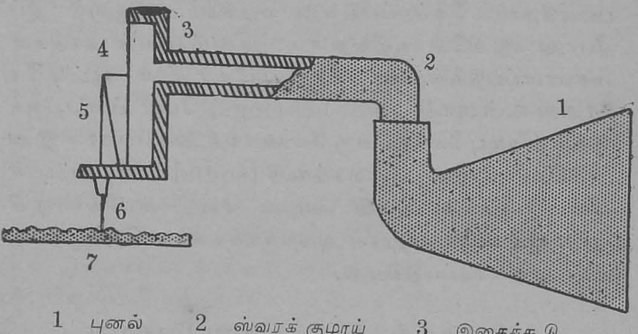
படம் 357

(diaphragm) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. ‘கணு’ (Link) எனப்படும் ஒரு சிறு கம்பி இதன் மையத்தைத் தொட்டுக்கொண்டு அதற்குச் செங்குத்தாக நிற்

கிறது. இதன் மற்றொரு முனையோடு ஒரு மெல்லிய உறுதியான செம்புகோலின் ஒரு முனை இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த செம்புகோல் இடையிலே பூட்டப்பட்டிருக்கிறது. இதன் இரண்டாவது முனை கூர்மையானது. அதனடியிலே இளகிய அரக்குத் தட்டொன்று வைக்கப்பட்டுள்ளது. புனல்வாய்க்கு அருகே ஒருவன் பேசுவதாகவும், அரக்குவட்டில் படத்தில் கண்டவாறு சுழலுவதாகவும் கொள்வோம். பேச்சினது அதிர்ச்சியினால் விதானம் முன்னும் பின்னுமாகத் துடிக்கும். இதனால் கணுவும் அதனோடு சேர்ந்த செம்புகோலும் துடிக்க அரக்குவட்டிலிலே செளிந்து செல்லும் ஒரு வட்டம் வரையப்படும். ஒரு சுற்று முடிந்தவுடன், மறுபடியும் செம்புகோலின் ஊசிமுனை அதே வட்டத்தில் செல்லாமல் சுருண்டு சற்றே உள்ளே செல்லவேண்டும். இதற்காக வட்டில் சுற்றும்போது அதன் மையத்தை நோக்கி ஊசி முனையை மெதுவாக நகர்த்தவும் வேண்டும். இதுவே சாமானியமாய் கிராமபோன் தட்டுகளிலே ஒலிப்பதிவு செய்யும் பழைய முறையாகும். இப்பொழுது மின்னியல் முறையொன்று கையாளப்படுகிறது. அதைப் பின்னால் விவரிப்போம்.

நிற்க, ஒலி எவ்வாறு பதிவு செய்யப்படுகிறது என்பதைக் காண்போம். ஒலியின் பிரதான அம்சங்கள் அதன் சுருதியும், முழக்கமும்; இவ்விரண்டு அம்சங்களும் இசைத்தட்டிலேற்படும் செளிந்த கீறலில் அமைந்துள்ளன. அச்செளி வரையிலுள்ள அலைகளின் அடுக்கம் சுருதியைக் காட்டும். செளிவுகள் நெருங்கியிருந்தால் உயர்ந்த சுருதியையும், விலகியிருந்தால் தாழ்ந்த சுருதியையும் காட்டும். அலைகளின் வீச்சு அதிகமானால் முழக்கம் அதிகமாகும். வீச்சு குறைந்தால் முழக்கம் குறையும். ஒலியின் இயல்பு அலைகளின் வடிவத்தாலே நிர்ணயிக்கப்படும்.

கிராமபோன் :—இதன் அமைப்பு பெரும்பாலும் நாம் ஒலிப்பதிவுக்காகக் கண்ட கருவியின் அமைப்பை ஒத்ததேயாகும். (படம் 358)ஐப் பார்க்கவும். இசைத் தட்டிலுள்ள கீறலிலே ஒரு கூறிய எஃகு ஊசி பதிந்திருக்கிறது. தட்டு சுழலும்போது இந்த ஊசி துடித்துக்கொண்டிருக்கும். இவ்வூசி நீண்ட நெம்புகோலின் அடியிலே பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்த நெம்புகோல் நடுவிலே பூட்டப்பட்டிருக்கிறது. இதன் மேல் முனை விதானத்தின்மீது அழுத்திக்கொண்டிருப்பதால்



1 புனல் 2 ஸ்வரக் குழாய் 3 இசைக்கூடு
4 விதானம் 5 நெம்புகோல் 6 ஊசி
7 இசைத் தட்டு

படம் 358

அது துடிக்கும்போது அவ்விதானமும் துடித்து ஒலியை வெளியிடுகிறது. இந்த ஒலி ஸ்வரக்குழாயின் (tone arm) வழியாகச் சென்று புனல்வாய் வழியாகப் பெருகி வெளிப்படுகிறது. புனலின்வாய் கணக்கியலின் படி 'அடுக்கியல் வரையின்' (logarithmic curve) வடிவத்தைக் கொண்டிருந்தால் நலமென்று கண்டிருக்கின்றனர். ஆனால் நவீன யந்திரங்களிலே இப்புனல் முழுவதும் மடக்கிப் பெட்டிக்குள்ளேயே அடக்கி வைக்

கப்பட்டிருக்கிறது. இசைத்தட்டு வெல்வெட் வைத்து ஒட்டியுள்ள ஒரு பீடத்தின்மீது நிற்கும். இப்பீடம் இதன் கீழுள்ளதொரு கம்பிச்சுருள் வில்லைக்கொண்ட சாதனத்தாலே சுழற்றப்படுகிறது. சரியான ஒலியைக் கொடுக்கவேண்டுமானால் தட்டு சீரான வேகத்தோடு சுழலவேண்டியது அவசியம். இதற்காக ஒரு கண் காணியும் (governor) வில்சுருள் சாதனத்திலே சேர்க் கப்பட்டிருக்கும்.

இசைக்கூட்டிலே இருக்கும் விதானம் மைக்காப் படலத்தால் செய்யப்படுவது வழக்கம். ஆனால் இப் போது நடுவிலே குழிந்துள்ள அலுமினியத் தகடுகள் கையாளப்படுகின்றன. நெம்புகோலின் பூட்டிலே 'ரவை-உள்ளாழி' (ball-bearings) போடப்பட்டிருக் கும். நெம்புகோல் வெகு வேகமாகத் துடிப்பதால் இது அவசியமாகிறது. இசைக்கூடு (sound box) தட்டின் விளம்பிலிருந்து அதன் மையம் வரை வரவேண்டியி ருப்பதால் ஸ்வரக்குழாய் அதற்குகந்தவாறு நெகிழும்படி யாக அமைக்கப்படுகிறது.

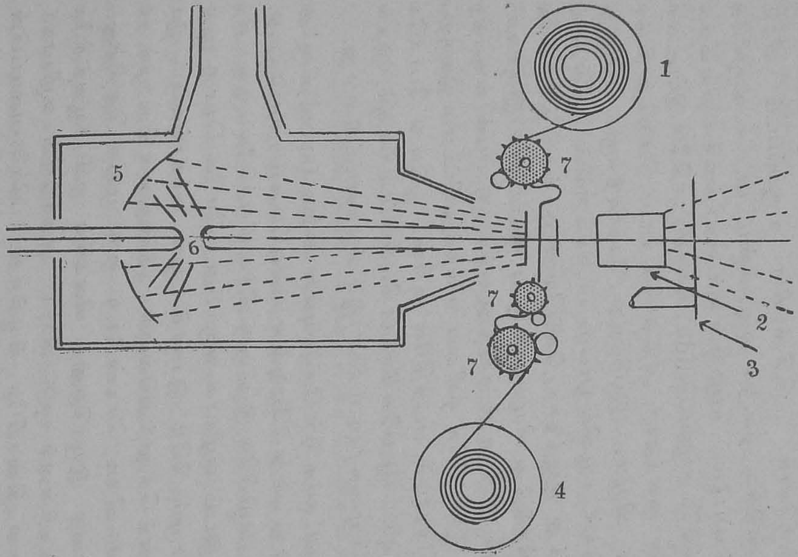
சினிமாப்படங்கள் : பேசாதன, பேசுவன.

மௌனப்படங்கள் :—இவற்றின் தத்துவம் மிக எளிதானது. நமது கண்ணிலேயுள்ளதொரு குறை பாட்டை அடிப்படையாகக்கொண்டு இப்படங்கள் செய் யப்பட்டுள்ளன. நாம் ஒரு பொருளைப் பார்த்துக்கொண் டிருக்கும்போதே அது திடீரென மறைந்துவிடுகிற தெனக் கொள்வோம். அப்பொருளுடனே அது நமது கண்ணிலே தோற்றுவித்த புலனுணர்ச்சியும் மறைந்து விடுவதில்லை. அப்பொருளினுணர்ச்சி அற்றுப்போவ தற்குச் சிறிதளவு தாமதம் ஏற்படுகிறது. இக்கால தாமதம் ஒரு செகண்டிலே பதினாறிலொருபங்கு என்று கண்டிருக்கிறார்கள். எனவே, ஒரு பொருள் நமது

காட்சியிலிருந்து மறைந்து வீசம் செகண்டுக்குள்ளே மறுபடியும் தோன்றக்கூடுமானால், அப்பொருள் மறைந்து பின்னர் தோன்றியது நமது கண்ணுக்குப் புலப்படாதுபோய்விடும். இதுதான் சினிமாவின் தத்துவம்.

ஓடிக்கொண்டிருக்கும் ஒரு குதிரையைப் படம் பிடித்து எவ்வாறு சினிமாவில் காட்டுவதென்பதை விளக்குவோம். குதிரையின் உருவப்படம் வீசம் செகண்டுக்கு ஒன்றாக ஒரு நீண்ட படலச் சுருளிலே பிடிக்கப்படும். நாம் முன்னால் விவரித்துக் கூறிய வீச்சு விளக்கிலே நழுவம் (slide) நிற்குமிடத்திலே இப்படலச் சுருளை வைத்தால் அதிலுள்ள படம் பெருகித் திரையிலே விழும். இப்போது செகண்டுக்குப் பதினாறு படங்கள் நழுவிவரும்படி படலச்சுருளின் முனையைப் பிடித்து இழுத்தால், வெவ்வேறு படங்கள் திரையிலே அடுத்தடுத்து விழுவதால் ஒரே குழப்பமாக இருக்கும். ஆனால் ஒரு படம் நகர்ந்து மற்றொரு படம் வருவதற்குள் இடையிலே ஒளியை மறைத்துவிட்டால் இக்குழப்பம் நேராமல் படத்திலே குதிரை ஓடுவது போலவே தெரியும். இதுவே சினிமா மௌனப்படமாகும். இதன் செயல்முறை (படம் 359)இல் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

படலச்சுருள் மேலேயுள்ள கண்டி (spool)லிருந்து கழன்று வந்து கீழேயுள்ள கண்டிலே சுழற்றப்படுகிறது. இடைவழியிலே இது ஒரு வீச்சு விளக்கிலே நழுவம் நிற்கும் இடம் வழியாக வருகிறது. மேலே யொரு முள் சக்கரமும் கீழே இரண்டு முள் சக்கரங்களும் இச்சுருளைச் செலுத்துகின்றன. நடுவிலுள்ள சிறு முள் சக்கரமே வீசம் செகண்டுக்கு ஒரு முறை தெறித்துப் படத்தை இழுக்கிறது. விளக்கின் ஒளி நழுவத்திலே விழுந்தபின்னர் ஒரு வில்லை அமைப்பின் வழியாகச் சென்று திரையிலே விழுகிறது. வில்லை-யமைப்பின்



1 மேல் கண்டு
2 வில்லை
3 மூடி
4 கீழேயுள்ள கண்டு
5 ஆடி
6 வீச்சு விளக்கு
7 முள் சக்கரங்கள்

படம் 359

வாய்க்கு முன்னே ஒரு மூடி நிற்கிறது. இம்மூடி செகண்டுக்கு எட்டு முறை சுழலும். அதனால் அதன் கைகள் செகண்டுக்குப் பதினறு முறை ஒளியை மறைக்கும். இது ஒளியை மறைக்கும்போது படலம் நழுவி அடுத்த படம் வந்து நிற்கும். அதற்குள் மூடி திறந்துவிடுவதால் அப்படம் திரையிலே விழும். இவ்வாறு அடுத்தடுத்துப் படங்கள் செகண்டுக்குப் பதினறு வீதம் திரையின்மீது விழுவதால் படம் மாறுவது நமது கண்ணுக்குப் புலனவதில்லை. இப்படங்கள் முறையே குதிரையின் வெவ்வேறு நிலைகளைக் காட்டுவதால் நாம் படத்திலே குதிரை தொடர்ந்து ஓடுவதுபோலக் காண்கிறோம்.

பேசும்படங்கள் :—சினிமாப்படங்கள் ஒளியைப் பதிவு செய்து மீண்டும் காட்டுகின்றன. கிராமபோன்கள் ஒலியைப் பதிவு செய்து மீண்டும் வெளியிடுகின்றன. எனவே இவ்விரண்டையும் ஒன்றுகூட்டினல் பேசும் படங்களைச் செய்துவிடலாமென்று எல்லோரும் எளிதிலே நினைக்கக்கூடும். இக்கற்பனையே பேசும் படங்களைச் செய்யும் முயற்சிக்குக் காரணமாயிற்று.

படத்திலே காட்டப்படும் உருவங்களின் அங்கச் சேஷ்டைகள் படலங்களிலே பதிவுசெய்யப்பட்டன. அவற்றுக்குரிய ஒலிபேதங்கள் தட்டுகளிலே பதிவு செய்யப்பட்டன. இவையிரண்டையும் ஒன்றுசேர்த்துலயப்படுத்தவேண்டும். ஒரே சமயத்தில் ஒளி ஒலிகளைப் பதிவு செய்து, அப்போது படலமும் தட்டும் ஓடிக்கொண்டிருக்கும் வேகத்தோடே மறுபடியும் காட்சியளிக்கும்போதும் ஓடச்செய்தால், இந்த ஒற்றுமை ஏற்படக்கூடும். ஆனல் இவையிரண்டும் வேகத்திலொன்றுபட்டால் மட்டும் போதாது. துவக்கத்திலும் ஒன்றுபடவேண்டும். இதைச் செய்வது மிகக் கடினம்.

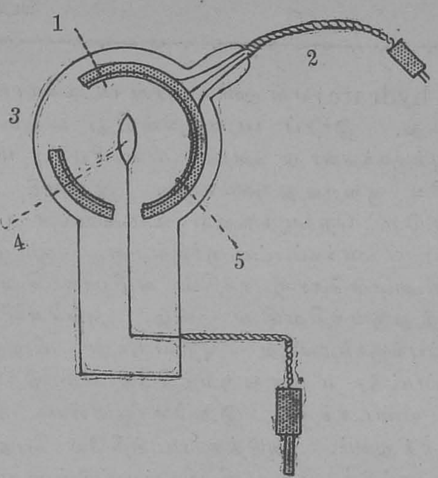
எனவே இம்முறை சிரமசாத்தியமாயிருப்பதால் அதிக மாகப் பிரபலமடையவில்லை.

ஒளி-ஒலிகளை ஒரே இடத்தில் பதிவு செய்ய மற்றொரு முறை காணப்பட்டது. படலச்சுருளின் ஒரு ஓரத்திலேயே ஒலியையும் கிராமபோன் முறைப்படி பதிவு செய்துவிட்டால் இது எளிதிலே முடிந்துவிட லாம் என்று தோன்றுகிறது. ஆனால் இதில் பல தொல்லைகள் இருக்கின்றன. அவற்றுள் முக்கிய மானவை இரண்டு.

(1) சினிமாப்படங்கள் எடுக்கப்படும் 'செலூலா யிடு' படலங்கள் ஒலிப்பதிவு செய்ய ஏற்றதாக இல்லை.

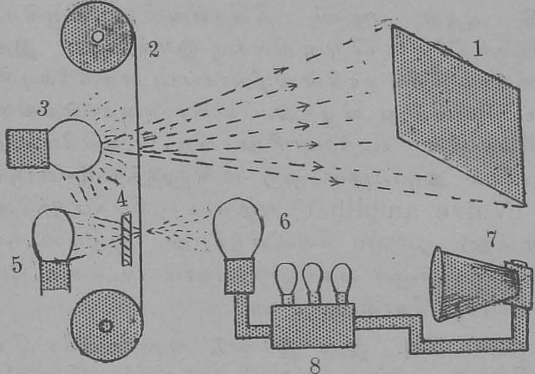
(2) படம் திரையிலே விழும்போது அதற்குரிய ஒலி படலத்தின் அருகே உண்டாகும். இதனால் பார்ப் பவர்களுக்குப் படங்கள் மௌனமாக அசைந்து கொண்டிருக்கையிலே அதற்குத் தக்கவாறு யாரோ பின்னாலிருந்து பேசுவது போலக் கேட்கும்.

இதற்காகவே ஒலியும் போட்டோ பிடிக்கப்பட்டது. ஒளியும் இருளும் வெவ்வேறு அளவிலே கலந்து நின்ற போது வெவ்வேறு அடுக்கமும், முழக்கமும்கொண்ட ஒலியுண்டாகுமாறு ஏற்பாடு செய்யப்பட்டது. இந்தச் சாதனம் நெடுநாள் வரை கண்டுபிடிக்கப்படாமல் இருந்ததால் மௌனப்படங்கள் வெளிவந்த நெடுநாளைக் குப்பின்னரே பேசும் படங்கள் வெளிப்படுவது சாத்திய மாயிற்று. இந்தச் சாதனமே ஒளியியல்-மின் கடம் (Photo-electric Cell) எனப்படும். (படம் 360) ஐப் பார்க்கவும். ஒரு சாமானிய மின்விளக்குக் குமிழைப் போன்றதொரு குமிழின் நடுவிலே ஒரு மெல்லிய உலோ கக்கம்பி தலையிலே ஒரு வளையத்தோடு நிற்கின்றது. இது மிகைத்துருவமாகும். இதைச் சூழ்ந்து குமிழின் உட் புறச் சுவரையொட்டி ஒரு வெள்ளிப்படலம் இருக் கிறது. இதனுட்புறத்திலே சாம்பர நீருடையி (Potas-



1 வெள்ளிப்படலம் 2 உகைவி 3 சந்து
4 மிகைத்துருவம் 5 குறைத்துருவம்

படம் 360

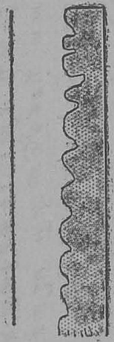


1 திரை 2 படலம் 3 வீச்சு விளக்கு 4 சந்து
5 மற்றொரு விளக்கு 6 ஒலியியல் மின்-கடம்
7 ஒலிப்பெருக்கி 8 மின்னுருத் தாழ்பெருக்கி

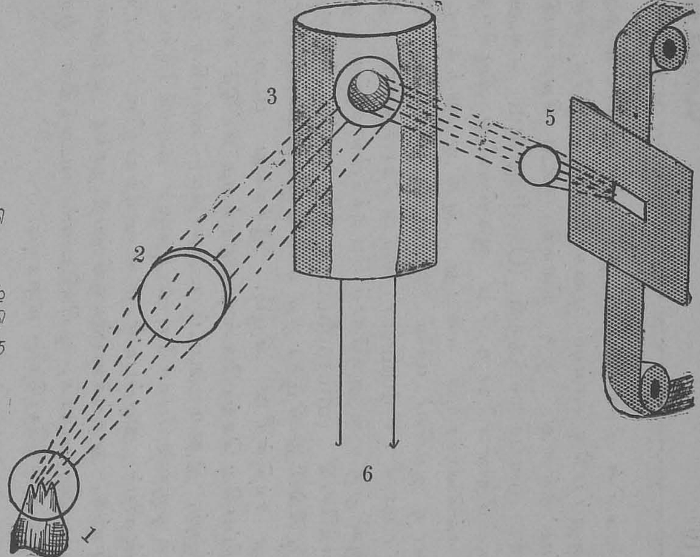
படம் 361

sium hydrate) என்னும் உப்பின் படலமொன்று ஒட்டி நிற்கிறது. இந்தப் படலத்தின்மீது விழும் ஒளியின் அளவுக்குகந்தவாறு அதன் மின்னியல்பு மாறுபடும். இதுவே குறைத்துருவமாகும். இரண்டு துருவங்களோடும் நெகிழக்கூடிய உகைவிகள் (Flexible leads) பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. குமிழின் முன்புறத்திலுள்ளதொரு சந்தின் வழியாக வெளிச்சம் குறைத்துருவத்தின்மீது விழ, அவ்வெளிச்சத்தின் உறைப்புக்குகந்தவாறு அதிலிருந்து மின்னுருக்கள் வெளிப்பட்டு, மிகைதுருவத்திலே மோதி ஒரு அருவியை உண்டாக்கும். இதுவே ஒளியியல் மின் கடத்தின் தத்துவம். அடுத்த படத்திலே பேசும் படங்களைக் காட்டும் முறை விவரிக்கப்பட்டுள்ளது. (படம் 361). படமும் ஒலியும் பதிவு செய்யப்பட்ட படலச்சுருள் மேல்கண்டிலிருந்து கீழ்கண்டிற்கு வருகிறது. முதலிலே படத்தின்மீது வீச்சு விளக்கின் ஒளி குவிக்கப்பட்டு அதன் படிவம் திரையின்மீது விழுகிறது. அதற்குக் கீழே மற்றொரு விளக்கு இருக்கிறது. இதன் வெளிச்சம் சிறிய சந்தின் வழியாகப் படலத்திலேயுள்ள ஒலிப்பதிவின்மீது விழுந்து, பின்னர் அதையடுத்துள்ள ஒலியியல்-மின் கடத்தின்மீது விழ, அதிலேற்படும் மின்னியல் துடிப்புகள் ஒரு மின்னுருத்தாழ்-பெருக்கியின் (Valve amplifier) வழியாக ஒலிப்பெருக்கியை அடைந்து, ஒலியை வெளியிடுகிறது. ஒலிப்பெருக்கி திரையின் பின்னால் வைக்கப்படுவதால் படங்கள் பேசுவது போலத் தோன்றுகின்றன.

ஒலிப்பதிவு. இது இரண்டு முறைகளிலே செய்யப்படுகிறது. ஒன்று 'மாறும் அகலம்' (Variable width) என்றும் மற்றொன்று மாறும் செறிவு (Variable density) என்றும் கூறப்படும். முன்னது (படம் 362)இல் கண்டவாறு இருக்கும். இதிலுள்ள அலைகளின் நெருக்கம் ஒலியின் அடுக்கத்தைக் காட்டுகிறது.



படம் 362



1 விளக்கு
2 குவிவில்லை
3 துளங்கிசைக் கருவி
4 ஆடி
5 வில்லை
6 மின்னுருத் தாழ் பெருக்கியின் வழியாக மைக்குக்கு செல்லும் பாதை

படம் 363

அலைகளின் வீச்சு ஒலியின் முழக்கத்தைக் காட்டுகிறது. இதைப் பதிவு செய்யும் முறை (படம் 363)இலே விளக்கப்பட்டுள்ளது. ஒரு விளக்கிலிருந்து வெளிப்படும் ஒளி, துளங்கிசைக்கருவி (Oscillograph) என்னும் கருவியிலுள்ளதொரு சிறு ஆடியின்மீது விழுகிறது. துளங்கிசைக்கருவி என்பது அதிநுணுக்கமானதொரு ஆம்பியர் மானி (Ammeter) அல்லது மின் மட்டமானி (Voltmeter) என்று கொள்ளலாம். இக் கருவி ஒரு மின்னுருத்தாழ் பெருக்கியின் வழியாக ஒரு மைக்கோடு (microphone) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஆடியின்மீது விழுந்த ஒளி மீண்டு ஒரு பலகையிலுள்ள சிறு சந்தின்மீது விழும். இச்சந்து படலத்திலே ஒலிப்பதிவு செய்யவேண்டிய ஓரத்தை மட்டும் காட்டி நிற்கும். இது மாறுபடம் படலமாகும். மைக்கின் முன்னால் ஒருவன் பேசும்போது அதனால் மைக்கிலேற்பட்ட மின்னியல் துடிப்புகள் மின்னுருத்தாழினால் பெருக்கப்பட்டு, துளங்கிசைக்கருவியைத் தாக்க அதிலுள்ள ஆடி துடிப்பதால், ஒளிக்கிரணம் படலத்தின் ஓரத்திலே அலைக்கோடுகளை வரையும்.

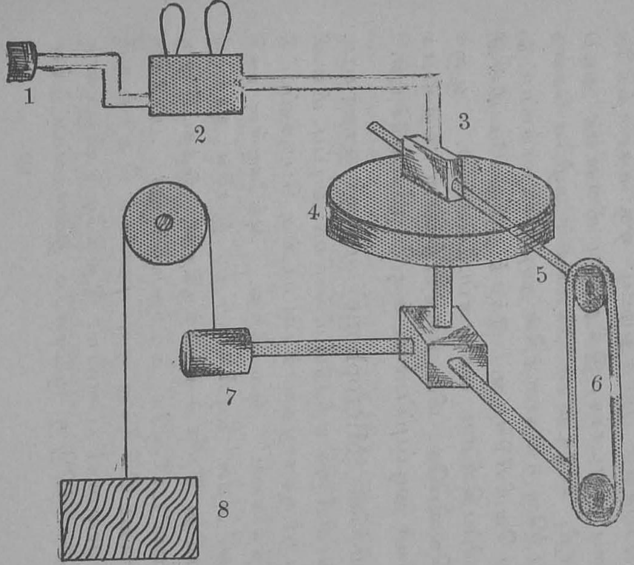
'மாறும் செறிவு'ப் பதிவிலே ஒலியின் முழக்கம் ஒளியின் உறைப்பினால் காட்டப்படும். ஒலியின் அடுக்கம் ஒளி வரைகளின் நெருக்கத்தால் குறிக்கப்படும். இதைப் பதிவுசெய்யும் முறை சற்றே சிக்கலானது.

மின்னியல் ஒலிப்பதிவு :—1925-ம் வருஷத்திலிருந்து 'மின்னுருத்தாழ்' (thermionic valves)களின் உதவியைக்கொண்டு இசைத்தட்டுகளிலே ஒலிப்பதிவு செய்யப்படுகின்றன. சிறிய மின்னியல் துடிப்புகளை நாம் விரும்பிய அளவுக்குப் பெருக்கக்கூடியதொரு சாதனமே மின்னுருத்தாழ் எனப்படும். நாம் முன்னால் விவரித்த சாமானிய முறையே செம்மையாக ஒலிப்

பதிவு செய்வதற்குப் போதுமானது. ஆனால் அதிலே சில குறைபாடுகள் உள. இசைப்பதிவு செய்யும்போது பாடுகிறவர்கள் புனல்வாய்க்கு மிக நெருங்கி இருக்க வேண்டும். தனியாகப் பாடுவதிலே இதில் சிரமமொன்றும் இல்லை. ஆனால் பலர் சேர்ந்து வாத்தியங்கள் கொண்டு வாசிக்கும்போது எல்லோரும் புனல்வாயினருகே கூடியிருப்பது முடியாது. மற்றும், ஒலியின் அடுக்கம் சிலபோது ஊசியின் இயற்கைத் துடிப்பு அடுக்கத்தோடு ஒன்று பட்டுவிடும். அப்போது முழக்கம் அதிகமாய்விட இசை கெட்டுவிடும். இக்குறைபாடுகளெல்லாம் மின்னியல் முறையிலே இல்லை.

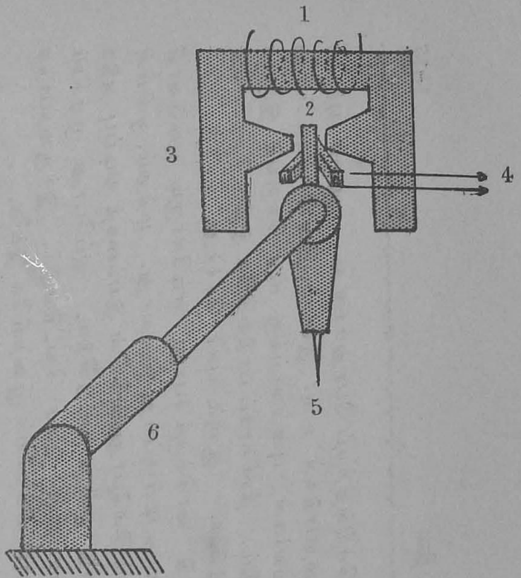
மின்னியல் ஒலிப்பதிவின் அடிப்படையான தத்துவம் (படம் 364)இல் நன்கு விளக்கப்பட்டுள்ளது. தொலைப்பேசியில் ஒலித்துடிப்பு ஒரு விதானத்திலே துடிப்பை உண்டாக்க, இத்துடிப்பு மின்னியல் துடிப்பாக மாறி, நெடுந்தூரம் தந்திகளின் வழியே சென்ற பிறகு மற்றொரு விதானத்தின் துடிப்பாக மாற்றப்பட்டு, ஒலியை வெளியிடுகிறது. இந்தத் தத்துவமே மின்னியல் ஒலிப்பதிவிலும் கையாளப்பட்டுள்ளது. ஆனால் இடைவெளியிலே மின்னுருத்தாழ்களின் உதவியால் மின்னியல் துடிப்புப் பல மடங்கு பெருக்கப்படுகிறது.

மைக்கின் (Microphone) முன்னால் ஒருவர் பாட அவ்வொலியினால் ஏற்படும் மின்னியல் துடிப்பு, மின்னியல் பெருக்குத்தாழ்களால் பல மடங்கு பெருக்கப்பட்டு ‘பதிவுத்தலையை’ அடைகிறது. அங்கேயுள்ள ஊசி துடித்து, அதன் அடியில் சுழலும் இளகிய அரக்குத் தட்டின்மீது கீறலை உண்டாக்குகிறது. இத்தட்டு ஒரு சிறு மோட்டாரினாலே சுழற்றப்படுகிறது. படத்தில் ஒரு சகடையிலிருந்து ஒரு புறமாகத் தொங்கும் எடையொன்றைக் காணலாம். இது கீழே இறங்குவதால் சரட்டின் மற்றொரு முனையிலே இணைக்கப்பட்டுள்ள



1 மைக் 2 தாழ் பெருக்கி 3 பதிவுத்தலை
4 அரக்கு வட்டில் 5 திருகாணி 6 தோல்பட்டை
7 கவர்ச்சி மோட்டார் 8 எடை

படம் 364



1 கம்பிச் சுருள் 2 அடை 3 பகர-காந்தம்
4 உதைவிகளின் முனைகள் 5 கோமேதக ஊசி
6 ரப்பர்க் குழாய்

படம் 365

சட்டம் சுழல, அதனோடு இணைக்கப்பட்டுள்ள மற்ற சட்டங்களின் மூலமாக இது பதிவுத்தலையினூடே செல்லும் திருகாணியின் தலையைச் சுழற்றுகிறது. இதனால் மெதுவாக ஊசி அரக்குத்தட்டின் மையத்தை நோக்கி இழுக்கப்படுகிறது. கீறலும் வட்டமாகச் சுழன்று சுருண்டு உட்செல்லுகிறது. பதிவுத் தலையின் அமைப்பும் மிக எளியது. அடுத்ததைப் (படம் 365) பார்க்கவும். பகர வடிவான மின்காந்தத்தின் துருவங்களினிடையே ஒரு தேனிரும்புத் துடிகோல் நிற்கிறது. இதனடியிலே கீறல் செய்யும் ஊசி பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. ஊசியின் முனை கோமேதகத்தாலானது (Sapphire). இந்தத் துடிகோல் ஒரு தடித்த குட்டையான ரப்பர்க் குழாயினால் ஒரு தாங்குகாலோடு இணைக்கப்படுகிறது. இதனால் உடனியக்கத் துடிப்புகள் அடக்கப்படும். மின்காந்தத்தின் மேற்பகுதியைச் சூழ்ந்திருக்கும் கம்பிச்சுருளின் வழியாக மின்னியல் துடிப்புகள் செல்லும்போது, காந்தத்தின் வலிமையும் துடித்து மாறுபடுவதால், அதற்குகந்தவாறு துடிகோல் இயங்க, ஊசி கீறலைச் செய்வது சாத்தியமாகும்.

பௌதிக நூல்

காந்தவியல்

அத்தியாயம் 1

காந்தவியல் (Magnetism)

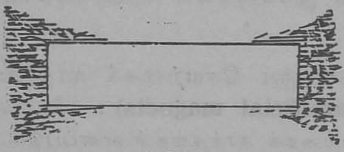
பண்டைக்காலந் தொட்டே சில இரும்புக் கனிக் கற்களுக்கு இரும்புத்தூளைத் தம்மிடம் கவரும் இயல்பு உண்டு என்பதை மக்கள் அறிவர். சிறிய ஆசியா (Asia minor) நாட்டிலுள்ள 'மக்னீஷியா' (Magnesia) என்னுமிடத்தில் அகப்பட்ட சில கற்களுக்கு இவ்வியல்பு விசேஷமாக அமைந்திருந்தது. அதனாலேயே அக்கற்களுக்கு 'மாக்னடிக்' கற்கள் என்ற பெயரும், அவற்றின் சிறப்பியல்புக்கு 'மாக்னடிஸம்' என்னும் பெயரும் ஆங்கிலத்தில் ஏற்பட்டது. நாம் சில காந்தவியல் பொருள்களுக்குப் பொதுவாகவுள்ள இந்தக் காந்த இயல்புகளைப்பற்றி இப்பகுதியில் சற்று விவரிப்போம்.

இயற்கைக் காந்தங்களும் செயற்கைக் காந்தங்களும் **(Natural and artificial magnets)** :—மேலே குறிப்பிட்ட கற்கள் இயற்கைக் காந்தங்கள் எனப்படும். அவற்றின் இரசாயன யாப்பின் (Chemical constitution) வாய்பாடு $Fe_3 O_4$ ஆகும். இக்கற்களை ஒரு நூலில் கட்டித் தம்மியல்பாகத் தொங்கவிட்டால், அவை எப்போதும் தெற்கு வடக்காகத் திரும்பி நிற்க முயலுகின்றன என்பது, மேற்கூறிய கற்கள் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட பின்னர் பல நூற்றாண்டுகள் கழிந்து தெரியவந்தது. இவற்றினுதவியால் அக்காலத்தில் நடுக்கடலில் மரக்கலங்கள் திசை கண்டு செல்வது சாத்தியமாயிற்று.

ஒரு சிறிய எஃகுச் சட்டத்தின்மீது காந்தக்கல் ஒன்றினால் ஒரே திசையில் மட்டும் பல முறை தேய்த்

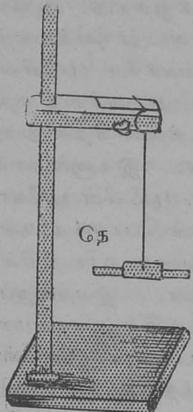
தால் அந்த எஃகுச் சட்டமும் காந்த இயல்பை அடையும். காந்தக்கல்லைவிட இந்தச் சட்டத்தில் காந்த இயல்புகள் பின்னும் நன்றாகத் தெரியவரும். இதைச் செயற்கைக் காந்தம் என்பார்கள். தற்காலத்தில் செயற்கைக் காந்தங்கள் பல துறைகளில் பெரிதும் பயன்படுகின்றன. இவை இப்போது மின்னருவிகளைக்கொண்டு தயார் செய்யப்படுகின்றன. இவற்றின் காந்தவியல்பை நாம் விரும்பியபடி மாற்றுவதும் இவற்றைக் கையாளுவதும் மிக எளிதாய் இருப்பதால் இவை பெரிதும் பயன்படுகின்றன.

காந்தங்களின் அடிப்படையான சில இயல்புகள் :—இரும்புத்தூளை கவர்தலும், தொங்கவிடப்பட்டபோது தெற்கு வடக்காக நிற்றலும், காந்தங்களின் இயல்புகளென்று முன்பு கூறப்பட்டது. இவற்றையன்றி மற்றொரு குணமும் இவற்றிற்கு உண்டு. காந்தமேறிய ஒரு சட்டத்தை அரத்தூளில் (iron filings) முழுக்கி எடுத்தால், அதன் முனைகளில் மட்டும் அரத்தூள் கொத்தாக ஒட்டிக்கொண்டிருப்பது தெரியவரும். சட்டத்தின் நடுவில் அரத்தூள் மிகக் குறைவாகவே ஒட்டியிருக்கும். படத்தைப் பார்க்கவும். (படம் 366). அரத்தூளை கவரும் சக்தியெல்லாம் குவிந்துள்ளதாகத் தோன்றும் இம்முனைகளுக்கருகிலுள்ள இடங்கள் காந்தத்தின் துருவங்கள் எனப்படும். இவ்விரண்டிடங்களையும் சேர்க்கும் நேர்கோடு காந்த இருசு (magnetic axis) எனப்படும். ஒரு காந்தச் சட்டத்தை நடுவில் ஒரு சிறு நூலால் கட்டித் தன்வயமாகத் தொங்கவிட்டால் அது ஏறக்குறைய தெற்கு வடக்காக நிற்கு



படம் 366

மென்று கண்டோம். இதை நாம் சிறிது அசைத்து விட்டாலும் அது மறுபடியும் தன்னிலைக்கே வந்து விடும். (படம் 367). ஆனால் எப்போதும் ஒரு முனை வடக்கையே நோக்கியும் மற்றொரு முனை தெற்கையே நோக்கியும் நிற்கும். இவ்வாறு வடக்கையே நோக்கும் முனை வடநோக்குத் துருவம் அல்லது வடதுருவம் என்றும், மற்றொன்று தென்னோக்குத் துருவம் அல்லது தேன்துருவம் என்றும் பெயர்பெறும்.



படம் 367

இப்போது மற்றொரு காந்தச் சட்டத்தின் வடதுருவத்தை, தொங்கும் காந்தத்தின் வடதுருவத்தினருகே கொண்டுவரவும். அது விலகிவிடுவதைக் காணலாம். அதையே தொங்கும் காந்தத்தின் தென்துருவத்தினருகே கொண்டுவந்தால் அவை ஒன்றையொன்று கவருவதைக் காணலாம். இவ்வாறே சட்டக் காந்தத்தின் தென்துருவமும் தொங்கும் காந்தத்தின் தென் துருவமும் ஒன்றையொன்று தள்ளுவதையும், சட்டக் காந்தத்தின் தென்துருவமும் தொங்கும் காந்தத்தின் வடதுருவமும் ஒன்றையொன்று கவருவதையும் பரிசோதனை செய்து காணலாம். இம்முடிவுகளையெல்லாம் கீழ்க்கண்டபடி தொகுத்துக் கூறலாம்.

"ஒரேவகைத் துருவங்கள் விலகிக்கொள்ளுகின்றன. எதிர்வகைத் துருவங்கள் கவர்கின்றன."

பூமியே ஒரு பெரிய காந்தம் :—ஒரு சட்டக்காந்தம் தெற்கு வடக்காக நிற்பதே மேற்கண்ட விதிக்கு ஓர் விளக்கமாகும். பூமி ஒரு பெரிய காந்தம் போல இருக்

கிறது. அதன் காந்த துருவங்கள் பூகோளத் துருவங்களுக்கு அருகில் இருக்கின்றன. பூமியின் காந்த வட துருவம் சட்டத்தின் தென் துருவத்தை ஒத்தது. ஆகையால் அது காந்தச் சட்டத்தின் வடதுருவத்தைத் தன்னை நோக்கிக் கவருகிறது. இவ்வாறே பூமியின் காந்தத் தென் துருவம் சட்டத்தின் வடதுருவத்தை ஒத்தது. ஆகையால் அது காந்தச் சட்டத்தின் தென் துருவத்தைத் தன்னை நோக்கிக் கவர்கிறது. இதனால் காந்தச் சட்டம் தெற்குவடக்காக நிற்கிறது. பூமியின் பூகோளத் துருவங்களோடு காந்த துருவங்கள் பொருந்தாமல் சற்று விலகி நிற்கின்றன. மற்றும் அவை ஓரிடத்தில் நிலைத்து நில்லாமல் சலனமடைகின்றன. இவற்றைப் பின்னால் சிறிது விவரிப்போம். ஓரிடத்தில் தன்வயமாகத் தொங்கவிடப்பட்ட காந்தச் சட்டத்தின் இருசின் வழியாகச் செல்லும் நிமிர்வைத் தளத்திற்கு (vertical plane) அந்த இடத்தில் பூமியின் காந்தத் துருவகம் (magnetic meridian) எனப்பெயர்.

ஒரு பொருள் காந்த மேற்றிருக்கிறதா எனப் பரிசோதித்தல் :—இதை மூன்று முறைகளில் மிக எளிதாகச் செய்யலாம்.

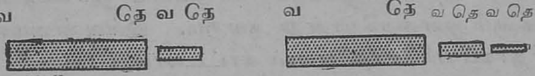
(1) அப்பொருளை அரத்தூளுக்கு அருகில் கொண்டுபோகவும். அதில் காந்த மேறியிருந்தால் அரத்தூளில் கொஞ்சம் அதில் ஒட்டிக்கொள்ளும்.

(2) அப்பொருளை ஒரு மெல்லிய நூலால் கட்டித் தன்வயமாகத் தொங்கவிடவும். அதில் காந்தமிருப்பின் அது ஏறக்குறையத் தெற்குவடக்காகத் திரும்பி நிற்கும். அதை நாம் சிறிது அசைத்தாலும் அது மறுபடியும் தன்னிலையையே அடையும்.

(3) அப்பொருளின் ஒரு முனையைத் தன்வயமாகத் தொங்கவிடப்பட்ட ஒரு காந்த ஊசியின் வடதுரு

வத்தினருகேகொண்டு செல்லவும். காந்த ஊசி விலகி ஓடினால் அப்பொருளில் காந்தமிருக்கிறது என்றும், நாம் காட்டிய முனை வடதுருவம் என்றும் அறியலாம். அவ்வாறல்லாமல் காந்தஊசி நாம் கொண்டுவந்த பொருளைக் கவர்ந்தால், நாம் கொணர்ந்த பொருள் காந்தசக்தி கொண்டதாக இருக்கிறது என்றோ அல்லது அது இரும்பினால் ஆனது என்றோ அறியலாம். இவ்வையம் நீங்குவதற்காக அப்பொருளின் அதே முனையை ஊசிக் காந்தத்தின் தென்துருவத்தினருகே கொண்டுசெல்லவும். அத்துருவம் விலகி ஓடினால் நாம் கொணர்ந்த பொருள் காந்தமேற்றதெனவும், நாம் காட்டிய முனை அதன் தென் துருவம் என்றும் அறியலாம். அவ்வாறன்றி இப்போதும் கவர்ச்சியே ஏற்பட்டால் அது வெறும் இரும்பாலான பொருள் என்று தீர்மானிக்கலாம். இவ்வாறாகக் காந்தவியல்பு அறிவதற்குக் கவர்ச்சி சிறந்த சோதனையல்ல. விலகி ஓடுதலே சிறந்த சோதனையாகும் என்று அறிகிறோம்.

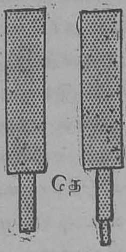
காந்த ஊட்டம் (magnetic induction) :—காந்தமேறாத ஒரு தேனிரும்புச் (Soft iron) சட்டத்தை அரத்தூளில் முழுக்கி எடுத்தால் அதில் ஒன்றும் ஒட்டுவதில்லை. ஆனால் ஒரு பலத்த காந்தச் சட்டத்தை அருகில் வைத்துக்கொண்டு மேற்கண்ட தேனிரும்புத் துண்டை அரத்தூளில் முழுக்கினால், அதில் அரத்தூள் ஒட்டிக்கொள்வதைக் காணலாம். இவ்வாறு ஒரு பலத்த காந்தம் அண்டையில் இருப்பதால் தேனிரும்புத் துண்டு காந்தவியல்பு அடைவதைக் காந்தஊட்டம் என்பார்கள்.



படம் 368

(படம் 368). சாமானியமான தேனிரும்பு ஆணிகளும்

எஃகு ஆணிகளும் ஒன்றையொன்று கவருவதில்லை. ஆனால் ஒரு காந்தச் சட்டத்தின் நுனிக்கு அருகில் ஒரு இருப்பு ஆணியைக் கொண்டுபோனால் அது சட்டத்தின் நுனியோடு ஒட்டிக் கொண்டு தொங்கும். (படம் 369). இப்போது இந்த ஆணியின் அடி முனைக்கு அருகில் மற்றொரு ஆணியைக் கொண்டுபோனால் அதுவும் அதனோடு ஒட்டிக்கொண்டு தொங்கும். இவ்வாறே இரண்டாவது ஆணியின் நுனியில் மூன்றாவது ஆணியைத் தொங்கவிடலாம். இவ்வாறு ஒரு நீளமான ஆணித் தொடரை உண்டாக்கலாம். இதெல்லாம் மேற்கண்ட ஊட்டத்தின் விளைவேயாகும். ஒரு பலமான காந்த துருவம் தனக்கு அருகில் உள்ள தேனிரும்பின் நுனியில் எதிர் துருவத்தைத் தூண்டுகிறது. இவ்விரண்டும் ஒன்றையொன்று கவர்கின்றன. இதுவே காந்தப் பொருள்கள் இரும்புச் சாமான்களை கவர்தலுக்குரிய காரணமாகும்.



படம் 369

ஒரு பலமான காந்தத்தின் ஒரு துருவத்தினருகில் மற்றொரு சிறிய காந்தத்தின் அதே வகைத் துருவம் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இவை ஒன்றையொன்று தள்ளும். ஆனால் வலிமை கொண்ட காந்தத் துருவம் சிறிய காந்தத்தின் முனைமீது தனது ஊட்டத்தால் எதிர்வகைத் துருவத்தை உண்டாக்கி, முன்னிருந்த துருவத்தை அழித்துவிடுதலும் உண்டு. இதனால் சிறிய காந்தத்தின் முனைகள் மாறுபட்டு இரண்டு காந்தங்களும் ஒன்றையொன்று கவரும். இவ்வுண்மையை எளிதாகப் பரிசோதனையால் காட்டலாம்.

காப்புத் திறனும் (Retentivity) ஏற்புத் திறனும் (Susceptibility):—சிறிய எஃகுக் கம்பித் துண்டுகள்

பலவற்றை எடுத்து, அவற்றை ஒரு பெரிய காந்தச் சட்டத்தின் ஒரு முனையினின்று ஒன்றிலிருந்து ஒன்றாகத் தொடர்ந்து தொங்கும்படி செய்யவும். இவ்வாறு இரண்டு அல்லது மூன்று துண்டுகளை மட்டுமே தொங்க விடக்கூடும். ஆனால் சிறு தேனிரும்புக் கம்பித்துண்டுகளை இவ்வாறு தொங்கவிட்டால் எட்டு அல்லது ஒன்பது துண்டுள்ள தொடர் ஒன்றைப் பெறமுடியும். இதனால் தேனிரும்பு எஃகைவிட அதிகமாகக் காந்தவியல்பை ஏற்றுக்கொள்கிறது என்பதைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். காந்தவியல் தாதுக்களிலே காந்தவியல்பை ஏற்றுக்கொள்ளும் திறன் பெரிதும் வேறுபட்டிருக்கிறது.

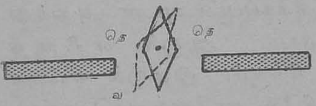
நிற்க, சட்டத்தோடு ஒட்டித் தொங்கும் கம்பித்துண்டுத் தொடரை கலைக்காமல் அப்படியே சட்டத்திலிருந்து பிரித்தெடுக்கவும். தேனிரும்புக் கம்பித் தொடர் சட்டத்திலிருந்து நீக்கப்பட்டவுடன் அறுந்து விழுந்துவிடுவதைக் காணலாம். ஆனால் எஃகுத் தொடரோ அறுபடாமல் நிற்கும். இதனால் எஃகைவிடத் தேனிரும்பு விரைவிலே தானேற்றுக்கொண்ட காந்தவியல்பை இழந்துவிடுகிறது என்று தெரிகிறது.

எஃகு தானேற்றுக்கொண்ட காந்தவியல்பை இழக்காமல் காத்துக்கொள்ளும் திறமை வாய்ந்தது. காந்தமாக்கும் சாதனம் நீங்கிய பின்னரும் ஒரு பொருள் காந்தவியல்பை இழந்துவிடாது கொண்டு இருத்தலே அதன் ‘காப்புத் திறன்’ எனப்படும்.

தேனிரும்பைவிட எஃகு அதிக ‘காப்புத்திறன்’ வாய்ந்தது. காந்தப்படுத்தும் சாதனம் நீங்கிய பின்னரும் ஒரு பொருளிலே தங்கி இருக்கும் காந்தம் ‘எச்சக் காந்தம்’ (Residual magnetism) எனப்படும். எஃகினோடு ஐந்தாறு சதவீதம் துங்கதம் (Tungstun) உலோ

கமாவது அல்லது நான்கு சதவீதம் 'மாலிபதனம்' (Molybdinum) உலோகமாவது கலந்திருந்தால் அதன் 'காப்புத்திறன்' அதிகரிக்கிறது. காந்தமேற்றப்பட்ட தேனிரும்பைச் சிறிதும் அசைக்காமல் வைத்திருந்தால், அதிலே எஃகைவிட அதிகமான எச்சக்காந்தம் இருப்பதைக் கண்டறியலாம். ஆனால் அதைச் சிறிதே அசைத்து விட்டாலும் அதன் எச்சக்காந்தம் உடனே அழிந்துவிடும். எனவே தேனிரும்பிலே எச்சக்காந்தம் நிலையற்றதாக இருக்கிறது என்று ஊகிக்கலாம். எஃகிலோ எச்சக்காந்தம் நிலைத்திருக்கிறது. எச்சக்காந்தம் நிலைத்திருக்கும் தன்மையை 'காந்தப்பற்றுதல்' (Coercivity) என்றும் சொல்வதுண்டு.

தேனிரும்புக்கு 'காந்தமேற்புத்திறன்' அதிகமென்பதை எளிதாகக் காட்டுமோரு பரிசோதனை வருமாறு:—(படம் 370) ஆம் படத்தில் கண்டவாறு ஒரு காந்த ஊசியின் முனைக்கு இருபுறங்களிலும், சம தூரத்திலே, சமமான அளவைகள் கொண்ட எஃகுத் துண்டொன்றையும் தேனிரும்புத் துண்டொன்றையும் வைக்கவும். இக் காந்த ஊசியின் துருவம் இந்த இரண்டு துண்டுகளின் மீதும் தனக்கு எதிரான துருவத்தை யூட்டும். ஆனால் தேனிரும்பிலேற்படும் துருவம் வலிமை மிகுந்திருக்குமாதலால் காந்த ஊசியின் முனை அதன் புறமாகத் திரும்புவதைக் காணலாம்.



படம் 370

ஊசி திரும்பாமல் சமநிலைமையில் நிற்கவேண்டுமானல் தேனிரும்புத் துண்டைச்சற்றே தூரமாக நகர்த்தவேண்டிவரும்.

காந்தவியல் ஊட்டத்திற்குட்பட்டபோது ஒரு பொருளிலேற்படும் துருவத்தின் வலிமை எவ்வளவுக்

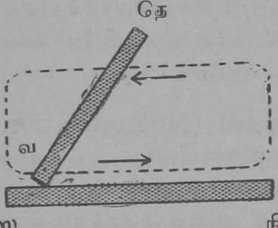
கெவ்வளவு அதிகமாய் இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு அதன் 'ஏற்புத்திறன்' உயர்ந்தது என்று கொள்ளப்படும். உயர்ந்த 'ஏற்புத்திறன்' வாய்ந்த பொருள்களே தாழ்ந்த 'காப்புத்திறன்' கொண்டவை. எனவே, விரைவிலே காந்தவியல்பை ஏற்று விரைவிலே அதைக் கைவிடவேண்டிய கருவிகள் உயர்ந்த 'ஏற்புத்திறன்' வாய்ந்த பொருளினாலாக்கப்படவேண்டும். மின் காந்தங்கள் இந்த இனத்தைச் சேர்ந்தவை. ஆகையால் அவையெல்லாம் சிறந்த ஸ்வீடன் நாட்டுத்தேனிரும்பை நன்றாகக் காய்ச்சித் தட்டியே செய்யப்படுகின்றன.

நிலையான காந்தவியல்பைக் கொண்டிருக்கவேண்டிய சட்டக் காந்தங்களும், குளம்புக் காந்தங்களும் (Horse shoe magnets), உயர்ந்த காப்புத்திறமைவாய்ந்ததும் துங்கதம் அல்லது மாலிபதனம் தக்க வீதத்திலே கலந்துள்ளதுமான எஃகினாலே, செய்யப்படுகின்றன.

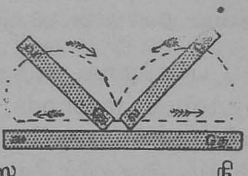
பரிசத்தால் காந்தமேற்றுதல் (Magnetisation by touch methods) :—தேனிரும்பிலும் எஃகிலும் பரிசத்தால் காந்தமேற்றமுடியும் என்று முன்பு கண்டோம். இவற்றில் தேனிரும்புத் துண்டில் காந்தம் எளிதாக ஏறிவிடும். ஆனால் அது காந்தவியல்பை எளிதிலே இழந்துவிடும். எஃகுத் துண்டில் காந்தமேறுவது சிறிது கடினம். ஆனால் காந்தவியல்பு அதில் சிறிது அதிகமாகப் பற்றிநிற்கும் என்று முன்பு கூறினோம். காந்த மேற்றும் முறைகளை இனிக் காண்போம்.

(1) ஒருதலைத் தேய்ப்பு (Single-touch) :—ஸ நி என்னும் எஃகுச் சட்டத்தை மேஜையின்மீது படுக்க வைக்கவும். (படம் 371). வ தே என்னும் ஒரு நிரந்தரக் காந்தச் சட்டத்தைப் (Permanent magnet) படத்தில் கண்டவாறு பிடித்து, அதன் வடதுருவத்தால் எஃகுச் சட்டத்தின்மீது ஒரு முனையிலிருந்து மற்றொரு முனை

வரை தேய்க்கவும். தேய்ப்பு எப்போதும் ஒரே திசையில் இருக்கவேண்டும். ஒவ்வொரு தடவையும் நி என்ற முனையை அடைந்தவுடன், காந்தச் சட்டத்தை மேலே எடுத்துக் கையை வீசி, அதைத் தூரத்திலே சுற்றி, மறுபடியும் ஸ என்ற முனையில் கொண்டுவைத்து, மறுபடியும் நி-யை நோக்கி தேய்க்கவும். இவ்வாறு பலமுறை தேய்த்த பிறகு ஸ நி-யைப் பரிசோதித்தால் அதில் காந்தவியல்புகள் காணப்படும். அதில் ஸ வடதுருவமாகவும் நி தென்துருவமாகவும் இருக்கும். தேய்ப்பு முடிகிற இடத்தில் தேய்க்கும் காந்தமும் தேய்க்கப்படும் காந்தமும் எதிர்த்துருவங்களைக் கொண்டிருப்பது தெரியவரும்.



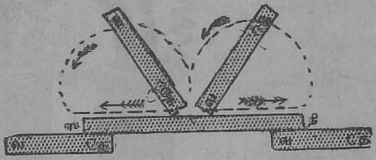
படம் 371



படம் 372

(2) இருதலைத் தேய்ப்பு :—இதற்குச் சமவலிமையுள்ள இரண்டுகாந்தச் சட்டங்கள் தேவை. (படம் 372). காந்தமேற்றவேண்டிய ஸ நி என்னும் எஃகுச் சட்டத்தை மேஜைமீது படுக்கவைக்கவும். இரண்டு காந்தச் சட்டங்களின் எதிர்த்துருவங்களை ஒன்றுசேர்த்து எஃகுத் துண்டின் மத்தியில் வைத்து, இரண்டு காந்தங்களையும் எதிர்த்திசைகளில் தேய்த்தெடுக்கவும். முதல் முறையில் கண்டதுபோலவே இங்கும் ஒரே முகமாகத் தேய்க்கவேண்டும். இவ்வாறு பல முறை தேய்த்த பிறகு ஸ நி-யில் காந்தவியல்புகள் காணப்படும். வடதுரு

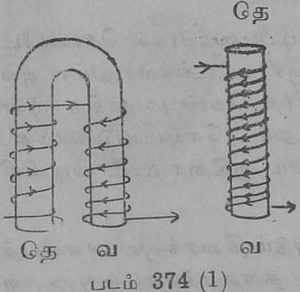
வத்தால் தேய்க்கப்பட்ட முனையில் தென்துருவமும் தென்துருவத்தால் தேய்க்கப்பட்ட முனையில் வடதுருவமும் உண்டாகி இருப்பதைக் காணலாம். இவ்வாறு தேய்க்கும்போது மற்று மிரண்டு காந்தங்களை எஃகுச்



படம் 373

சட்டத்திற்கு இருபுறத்திலும் எதிர்த்துருவங்கள் ஒன்றுசேரும்படி, (படம் 373) படத்தில் கண்டபடி வைத்தால் காந்தமேற்றுவது இன்னும் எளிதாய் இருக்கும்.

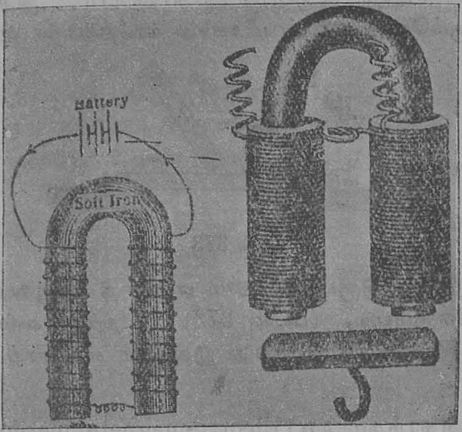
மின்காந்தமுறை (Electro-magnetic method) :— (படம் 374 (1), (2)). ஒரு கண்ணாடிக் குழாயின்மீது உறையிட்ட ஒரு செப்புக் கம்பியைப் பன்முறை சுற்றவும். குழாயினுள் ஒரு எஃகு ஊசியை வைத்து, மேலே சுற்றியுள்ள கம்பியின் வழியாக ஒரு மின்னருவி (electric current)யை ஒரு மின் கல அடுக்கின் (Battery) உதவியால் செலுத்தவும். இப்போது உள்ளே வைக்கப்பட்டிருக்கும் எஃகு ஊசி, காந்தவியல்பு அடைந்திருப்பதை ஒரு சிறு காந்த ஊசியால் சோதித்து அறியலாம்.



படம் 374 (1)

எஃகு ஊசியை வெளியிலெடுத்துச் சோதித்தாலும் அதில் சிறிது காந்த சக்தி எஞ்சி இருப்பது தெரியும்.

ஊசிக்குப் பதிலாக ஒரு மெல்லிய தேனிரும்புக் கம்பியை வைத்திருந்தால், அதைச் சுற்றி மின்னருவி ஓடும் வரை



படம் 374 (2)

யில் அதில் காநதசக்தி மிகுந்து நிற்பதும், அருவி நின்றவுடன் காந்த சக்தியே இல்லாது போய்விடுவதும் விளங்கும்.

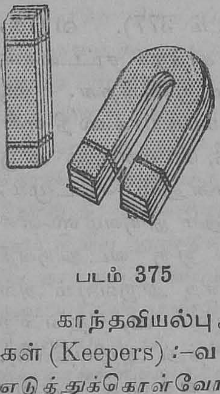
இந்த உண்மைகளை அடிப்படையாகக் கொண்டே நிரந்தரக் காந்தங்கள் எஃகுச் சட்டங்களாலும், அவ்வப்போது காந்தவியல்பு மாற வேண்டியதாகிற மின் காந்தங்கள் தேனிரும்பினாலும் செய்யப்படுகின்றன. மின்காந்தங்கள் பெரும்பாலும் குதிரை லாட வடிவிலிருக்கும்.

நிற்க, அருவி சுழன்றோடும் திசைக்கும் அவ்விடத்தில் ஏற்படும் துருவத்தின் தன்மைக்கும் ஒரு உறவு இருக்கிறது. அது வருமாறு :—மின்னருவி வலமாகச் சுழன்று சென்றால், அருவி நுழையும் முனையில்

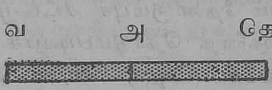
தென் துருவமும் அருவி வெளிப்படும் முனையில் வட துருவமும் உண்டாகும். மின்னருவி இடமாகச் சுழன்று சென்றால், அருவி நுழையும் முனையில் வடதுருவமும் அருவி வெளிப்படும் முனையில் தென் துருவமும் உண்டாடாகும்.

கூட்டுக் காந்தங்கள் (Compound magnets):— *மேற்கண்ட முறைகளின்படி காந்தமேற்றும்போது மேற்படலங்களில் மட்டுமே இக்காந்தவியல்பு பரவியிருக்கிறது. ஒரு காந்தச் சட்டத்தை காலகக்காடியில்* (Nitric acid) *சிறிது முழுக்கி எடுத்தால் அது மேற்படலங்களை யெல்லாம் அரித்துவிடும். பின்னர் அச்சட்டத்தில் காந்தவியல்பே இல்லை யென்பதைச் சோதித்து அறியலாம். இக்குறையை நீக்குவதற்காகவே கூட்டுக்காந்தம் செய்யப்பட்டது. இதில் பல எஃகுப் பட்டங்களைத் தனித் தனியே காந்தமேற்றிப் பிறகு அவற்றை ஒத்த துருவங்கள் ஒன்று சேர்ந்திருக்கும்படி கட்டிவைக்கப்படும். (படம் 375).*

இக்கூட்டுக் காந்தங்கள் சட்ட-வடிவிலும், குதிரை லாட வடிவிலும் செய்யப்படும். இவை அதிக வலிமை கொண்டவை. மேலும் அவற்றின் காந்தவியல்பு எளிதில் அழிவதில்லை.



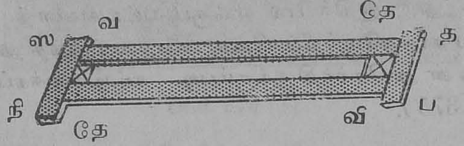
படம் 375



படம் 376

காந்தவியல்பு அழிதல் (Demagnetisation), காப்புகள் (Keepers) :–வ அ தே என்னும் *காந்தச் சட்டத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். (படம் 376).* வ என்ற

துருவம் சட்டத்தின் அ தே என்ற பகுதியில், அ என்ற விடத்தில் ஒரு தென் துருவத்தையும், தே என்ற இடத்தில் ஒரு வடதுருவத்தையும் உண்டாக்க முயலும். இவ்வாறே தே என்னும் துருவம், வ அ என்ற பகுதியில், அ என்ற இடத்தில் ஒரு வடதுருவத்தையும், வ என்ற இடத்தில் ஒரு தென் துருவத்தையும் ஏற்படுத்த முயலும். இதனால் வ, தே என்னும் இரண்டு துருவங்களின் வலிமையும் நாளடைவில் குறைய நேரிடுகிறது. இப்படி நேரிடாமல் தடுப்பதற்காக நிரந்தர காந்தங்களில் ஒரு தேனிரும்புத் துண்டை உபயோகிக்கிறார்கள். இச் சாதனத்திற்குக் 'காந்தக் காப்பு' என்று பெயர். இது காந்தங்களின் எதிர்முனைகளைத் தொடும்படியாக வைக்கப்படும்.



படம் 377

படத்தைப் பார்க்கவும். (படம் 377). வ தே, வி தே, என்னும் இரண்டு நிரந்தரக் காந்தச் சட்டங்கள் தலைமாற்றி இணையாக வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. வ, தே, என்னும் துருவங்களைத் தொடும்படியாக ஸ நி என்னும் தேனிரும்புச் சட்டமும், தே, வி என்னும் துருவங்களைத் தொடும்படியாக த ப என்னும் சட்டமும், வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. வ என்னும் துருவம் ஸ-வில் ஒரு தென் துருவத்தையும், நி-யில் ஒரு வடதுருவத்தையும் உண்டாக்குகிறது. தே என்ற துருவமும் அவ்வாறே செய்ய முயலுகிறது. இதனால் வ, தே என்ற துருவங்கள் ஒன்றையொன்று எதிர்த்து அழிவதில்லை. அவ்வாறே தே, வி என்ற துருவங்களும் ஒன்றை

யொன்று எதிர்த்து அழிவதில்லை. எனவே இவற்றின் காந்தவியல்புகள் அழியாமல் நிரந்தரமாய் இருக்கின் றன.

படம் 378

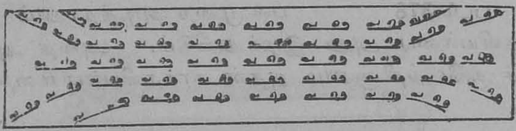
குதிரை லாடக் காந்தங் களில் ஸ நி என்ற ஒரு இரும் புத்துண்டே இவ்வேலையைச் செய்துவிடுகிறது. படத்தை பார்க்கவும். (படம் 378).

ஒரு காந்தச் சட்டத்தை பல முறை கீழே போட்டா லும் அல்லது சிறு சுத்தியால் பல முறை அடித்தாலும் தன் காந்தவியல்பை அது இழந்துவிடும். அதை அதிக மாகச் சூடேற்றினாலும் அதன் காந்தவியல்பு மறைந்து விடும்.

காந்தத்தின் மூலகக் கொள்கை
(Molecular Theory of Magnetism)

காந்த மேற்றப்பட்ட ஒரு ஊசியை இரண்டாக நடு வில் ஒடித்து அதை அரத்தூளில் முழுக்கி எடுத்தால், ஒடிந்த முனைகளும் காந்தத் துருவங்களாகிவிட்டதை அறியலாம். வட துருவத்தைக் கொண்டிருந்த பகுதி யில் ஒரு புதிய தென் துருவமும், தென் துருவத்தைக் கொண்டிருந்த பகுதியில் ஒரு புதிய வடதுருவமும் தோன்றி இருக்கும். இவ்வாறே அவ்வூசியைப் பின் னும் சிறிய துண்டுகளாக ஒடித்தால் ஒவ்வொரு துண் டும் காந்தவியல்பைக் காட்டும். இவ்வுண்மையை அடிப் படையாகக்கொண்டு காந்தத்தின் மூலகக் கொள்கை நிறுவப்பட்டது. இக்கொள்கையின்படி இரும்பு முத லிய காந்தவியல் தாதுக்களின் (elements) ஒவ்வொரு

மூலகமும் ஒரு அழியாத நிரந்தரக் காந்தமாகும். சாதாரண இரும்புத்துண்டில் இம்மூலகக் காந்தங்கள் தமக்குள் ஏற்படும் கவர்ச்சி விலக்கங்களால் கண்ட கண்ட திசைகளிலே திரும்பி நிற்கின்றன. இதனால் இக்காந்தங்களின் விளைவு பரஸ்பரம் அழிக்கப்பட்டு விடுவதால் அது வெளித் தெரிவதில்லை. இவ்விரும்புத் துண்டு காந்த மேற்றப்படும்போது இம்மூலகக் காந் தங்களெல்லாம் ஒரு வழியாகத் திரும்பி படத்தில் (படம் 379) கண்டவாறு நிற்கின்றன. இதில் இடையி லுள்ள துருவங்களின் விளைவுகள் பரஸ்பரம் அழிந்து விட்டாலும், இரு முனைகளில் மட்டும் அழிக்கப்படாத தன்வயமான காந்தத் துருவங்கள் நிற்கின்றன.



படம் 379

இவையே அவ்விருப்புத் துண்டில் காணப்படும் காந்தத் துருவங்களாகும். காந்தமேற்றும் சாதனங்கள் செய் யும் வேலையெல்லாம் இம்மூலகக் காந்தங்களை ஒருமுகப் படுத்துவதுதான். இதுவே மூலகக் காந்தக் கொள்கை யாகும். இக்கொள்கைப்படி காந்தமேற்றும் சாதனத் தின் திறமை அதிகப்பட்டால் காந்தமேற்றப்பட்ட பொருளில் ஒருமுகப்படுகிற மூலகங்களின் தொகை யும் அதிகரிக்கும். இதனால் அப்பொருளின் காந்தவியல் பும் வளரும். ஆனால் எல்லா மூலகங்களும் ஒருமுகப் பட்டபின் காந்தமேற்றும் சாதனத்தின் திறமை அதி கரித்துப் பயனில்லை. எனவே, அப்பொருளின் காந்த வியல்புக்கு ஒரு 'தேவிட்டும் எல்லை' (Saturation limit) இருக்கவேண்டும். உண்மையாகவே இத்தகைய

எல்லை ஒன்று ஒவ்வொரு காந்தவியல் பதார்த்தத்திற்கும் இருக்கிறது. காந்தமேற்றும் சாதனத்தின் திறமை எவ்வளவு அதிகரித்தாலும், அப்பதார்த்தத்தின் காந்தவியல்பு இத்'தெவிட்டும் எல்லை'யை மீறிப் போவதில்லை. எனவே, இக்கொள்கை அநுபவத்தோடு பெரிதும் பொருந்தி இருக்கிறது என்பது தெளிவாகிறது. ஆனால் 1922 ஆம் ஆண்டிலே பேராசிரியர் ஈவிங் (Prof. Ewing) என்பார் இவ்வாறு திரும்புவன மூலகங்கள் அல்லவென்றும் அணுக்கணுக்குள்ளே மின்னுருக்களின் மண்டிலங்களே (Orbits of Electron) இவ்வாறு திரும்புகின்றன என்றும் காட்டினர்.

காந்த துருவங்கள் எப்போதும் ஜதையாகவே கிடைக்குமென்று முன்பு கண்டோம். ஒரு காந்த ஊசியை ஒடித்தால் அது இரண்டிரண்டு துருவங்களைக் கொண்ட இரண்டு காந்தங்களாகிவிடுகிறது. எனவே ஒரு தனித்த காந்த துருவத்தைப் பெறமுடியாது. ஆயினும் ஒரு நீண்ட காந்த ஊசியை எடுத்துக்கொண்டால் அதன் துருவங்கள் வெகுதூரம் விலகி இருக்கும். அதனல் அவற்றுள் ஒன்றினது ஆக்கம் (influence) மற்றொரு துருவம் இருக்குமிடத்தில் மிகக் குறைவாய் இருக்கும். எனவே, ஒரு காந்தத்தை முரட்டுத்தனமாகக் கையாண்டால் அதன் காந்தவியல்பு குறைந்துவிடும். தட்டுதல், சுத்தியால் அடித்தல், உயரத்திலிருந்து கீழே எறிதல் முதலியவை காந்தவியல்பை அழித்துவிடக் கூடியவை. மூலக்கொள்கையின்படி மேலே கண்ட செயல்களாலே காந்தத்திலே ஒருமுகப்பட்டு நின்ற மூலகங்களின் நிலை சிதைக்கப்பட்டு, அவை பல வேறு விதமாகத் திரும்பி, காந்த மேற்றுவதற்கு முன்னிருந்தது போன்ற நிலையை அடைகின்றன. இப்போது பல வேறு மூலகக் காந்தங்களும் பல வேறு திசைகளிலே நிற்பதால், அவற்றின் விளைவுகள் பரஸ்

பரம் அழிந்து, பயனிலே விளைவு சூனியமாய்விடுகிறது. காந்தத்திலே சூடேற்றினாலும் அதன் காந்தவியல்பு குறைந்துவிடுகிறது.

சூடேறுவதால் மூலகங்களின் துடிப்பு அதிகரிக்கும். எனவே, அவை ஒருமுகப்பட்டு நிற்கும் நிலையை விட்டு எளிதிலே திரும்பி வேறு குழப்ப நிலைகளை அடைகின்றன. இதுவே காந்தவியல்பு குறைந்துபோவதற்குக் காரணம் என்று கூறப்படுகிறது.

இந்தக் கொள்கையின்படி தேனிரும்பு மூலகங்கள் எளிதிலே திரும்பும் தன்மை வாய்ந்தன. எனவே, இவை எளிதிலே காந்தவியல்பை ஏற்றுக்கொள்வதுமன்றி, காந்தமேற்றுவிக்கும் சாதனம் நீங்கிய பின்னர் எளிதிலே அவ்வியல்பை இழந்துவிடுகின்றன. எஃகினது மூலகங்களோ எளிதிலே திரும்பக்கூடாதன. எனவே, அவற்றிலே காந்தமேற்றுவித்தலும் அவற்றிலேறிய காந்தவியல்பை அழித்தலும் எளிதல்ல.

அத்தியாயம் 2

கூலோம்பின் விதி (Coulomb's Law)

காந்தப்புலமும் சக்திவரைகளும் (Magnetic field and lines of force)

கூலோம்பின் விதி:—*காந்த துருவங்களினிடையே ஏற்படும் கவர்ச்சி, தவிர்ச்சி* (attraction and repulsion) *விதிகளை கூலோம் என்பார் பின் கண்டவாறு வெளியிட்டார்.*

"இரண்டு காந்த துருவங்களுக்கிடைப்பட்ட சக்தி அத்துருவங்களது வலிமைகளின் பெருக்குத் தொகைக்கு ஏற்பவும், அவற்றினிடைப்பட்ட தூரத்தின் வருக்கத்துக்கு எதிர்விகிதமாகவும் இருக்கிறது."

இதைக் கணக்கியல் முறைப்படி கூறுவது வருமாறு :

$$F = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{m\,m'}{d^2}$$

இதில் m, m' என்பன துருவங்களின் வலிமைகள். d அவற்றினிடைப்பட்ட தூரம். μ என்பது ஒரு மாறிலிக்குணியம் (constant factor). *இது துருவங்கள் நிற்கும்* யானத்தை (medium)*ச் சார்ந்தது.*

ஒரு அலகுத் துருவத்தின் வரைவிலக்கணம் மேற்கண்ட உறவை அடிப்படையாகக் கொண்டது. அவ்விலக்கணம் வருமாறு.

ஒரு அலகுத் துருவமேன்பது, ஒரு சென்டிமீட்டர் தூரத்திலுள்ள தன்னை யொத்த மற்றொரு துருவத்தை ஒரு டைன் சக்தியோடு தள்ளுவதாகும்.

இதற்கு இவ்விரண்டு துருவங்களும் பவன மண்டிலத்திலே வைக்கப்பட்டிருக்கவேண்டும்.

மேலே குறிப்பிட்ட சமீகரணத்திலே $F = 1$ டைன், $d = 1$ செ. மீ., $m = m'$ என்று ஈடிடுக. இதனால் $\mu = 1$ என்றாகும். எனவே, பவனத்திற்கு $\mu = 1$ என்றாகும்படியாக துருவ அலகு வரையறுக்கப்படுகிறது. காந்தவியல்பில்லாத எல்லா யானங்களுக்கும் $\mu = 1$ என்று பரிசோதனையால் கண்டு நிறுவப்பட்டிருக்கிறது.

காந்தப் புலமும் சக்தி வரைகளும் (Magnetic field and lines of force)

ஒரு காந்தத்தின் அருகே அதன் ஆக்கம் புலப்படுகிற இடமெல்லாம் அக்காந்தத்தின் புலம் எனப்படும். இப்புலத்திலே ஓரிடத்தில் அதன் வலிமை அல்லது உறைப்பு (Intensity) எனப்படுவது, அவ்விடத்திலே வைக்கப்பட்ட ஒரு அலகு வடதுருவத்தின்மீது தொழிற்படும் சக்தியாகும். இவ்வாறாக m அளவுகொண்ட ஒரு வடதுருவத்திலிருந்து, r என்னும் தூரத்திலுள்ள ஓரிடத்தில் ஒரு அலகு வடதுருவத்தையிட்டால், அதன் மீது தொழிற்படும் சக்தி

$\frac{m \times 1}{r^2} = \frac{m}{r^2}$ ஆகும். இதுவே அந்த இடத்தில் புலத்தின் வலிமையாகும். m என்ற துருவத்திலிருந்து இரண்டு துருவங்களைச் சேர்க்கும்படி இழுத்த கோடு இச்சக்தியின் திசையைக் காட்டும். m என்பது தென் துருவமாயின், இதே சக்தி எதிர்த்திசையில் தொழிற்படும். ஓரிடத்தின் புல வலிமை H ஆனால், அவ்விடத்திலிடப்பட்ட ஒரு அலகு வடதுருவத்தின்மீது தொழிற்படும் சக்தி H டைன்கள் ஆகும். அவ்விடத்தில் m அளவுகொண்ட வடதுருவத்தையிட்டால் Hm டைன் கொண்ட சக்தி அதன்மீது தொழிற்படும்.

புல வலிமையை 'காஸ்' (Gauss) என்னும் அலகால் குறிப்பிடுவது வழக்கம். 15 அலகு கொண்ட ஒரு துருவத்தை 0·15 காஸ் கொண்ட புலத்தில் இட்டால், அதன்மீது தொழிற்படும் சக்தி 15 × 0·15 = 2·25 டைன் ஆகும். ஒரு புலத்தில் அதன் வலிமை எல்லா இடங்களிலும் சமமாகவும் ஒரே திசையை நோக்கியும் இருப்பின், அதைச் சீரான புலம் (uniform field) என்போம்.

ஒரு காந்த ஊசியை ஒரு சிறு அடைப்பான் துண்டில் செருகி, அதைத் தண்ணீரில் தன்வயமாக மிதக்க விட்டால், அது பூமியின் காந்தப் புலத்தினால் தெற்கு வடக்காகத் திரும்பி நிற்கும். இவ்வாறே ஒரு சட்டக் காந்தத்தின் புலத்திலே ஒரு சிறு திசைகாட்டியை வைத்தால், அது ஏதேனுமொரு திசையிலே திரும்பி நிற்கும். இதனால் அதன்மீது ஏற்படும் சக்திகளின் பயனிலைத் திருப்பியல் சூனியமாகும். இவ்வாறு ஆவதற்கு, அத்திசைகாட்டி அந்த இடத்தில் உள்ள புலவலிமையின் திசையிலே திரும்பி நிற்கவேண்டும். எனவே, இத்திசைகாட்டியின் துணையால் நாம் ஒரு காந்தப் புலத்தின் திசையை அறியலாகும்.

ஒரு காந்தப்புலத்திலே அதைக் குறிப்பதற்காகக் கோடுகள் வரையலாம். இக்கோடுகளின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் உள்ள புலவலிமையின் திசையை அப்புள்ளியில் அதன் தொடுவரை காட்டும். இவ்வாறு வரையப்பட்ட கோடுகள் சக்திவரைகள் அல்லது புலவரைகள் எனப்படும். ஒரு தனித்த காந்த வடதுருவத்தை இக்கோட்டின்மேல் ஓரிடத்தில் இட்டால் அது அக்கோட்டின்மீதே நகர்ந்துசெல்லும். தென்துருவத்தையிட்டால் அதுவும் அக்கோட்டின் மேலேயே எதிர்த்திசையில் நகர்ந்து செல்லும். இவற்றுள் வடதுருவம் நகரும் திசையை மிகைத்திசை யெனவும், தென்துருவம்

நகரும் திசையை குறைத்திசை என்றும் கூறுவார்கள். ஒவ்வொரு சக்தி வரையும் வடதுருவத்திலிருந்து கிளம்பி தென்துருவத்தில் சென்று முடிவடையும்.

இவ்வாறு வரையப்பட்ட இக்கோடுகள் ஒவ்வோரிடத்திலும் காந்தப்புலத்தின் திசையைமட்டுமே காட்டுகின்றன. அதன் வலிமையை காட்டுவதில்லை. அவை வலிமையையும் காட்டுவதற்குப் பின்கண்ட முறைகையாளப்படுகிறது. வலிமை அதிகமாகவுள்ள இடத்தில் இக்கோடுகளை நெருக்கமாகவும், வலிமை குறைவாக இருக்குமிடத்தில் கோடுகளை விலக்கமாகவும் வரையலாம். மற்றும் ஒரு புள்ளியைச் சுற்றி ஒரு ச. செ. மீ. கொண்ட பரப்பொன்று சக்திவரைகளுக்குக் குறுக்காகப் பிடிக்கப்பட்டால், அதன் வழியே செல்லும் வரைகளின் எண்ணிக்கை, அப்புள்ளியில் உள்ள புலத்தின் வலிமைக்குச் சமமாக இருக்கும்படி செய்யலாம். இவ்வெண்ணிக்கை வரைகளின் செறிவு எனப்படும். எனவே, ஓரிடத்தில் வரைகளின் செறிவு அவ்விடத்தில் புலத்தின் வலிமையைக் காட்டும். சீரான புலத்தின் வரைகளின் செறிவு சீராக இருக்கும். மேலும் வரைகள் இணையாகவும் சமதூரங்களிலும் இருக்கும்.

m என்னும் வடதுருவத்திலிருந்து r என்னும் தூரத்தில் உள்ள எல்லா இடங்களிலும் புலவலிமை $\frac{m}{r^2}$ என்று முன்பு கண்டோம். இப்போது m மையமாகவும், r ஆரமாகவும் கொண்ட ஒரு கோளம் (Sphere) வரைவோம். இதன் பரப்பின் மீது ஒவ்வொரு ச. செ. மீ. பரப்பினின்றும் வெளிப்படும் வரைகளின் எண்ணிக்கை $\frac{m}{r^2}$ ஆகும். எனவே m என்ற துருவத்திலிருந்து வெளிப்படும் மொத்த வரைகளின் எண்

ணிக்கை $4\pi r^2 . \frac{m}{r^2} = 4\pi m$. ஆகும். எனவே ஒவ்வொரு அலகு வடதுருவத்திலிருந்தும் 4π சக்திவரைகள் வெளிப்படுகின்றன. இவ்வாறே ஒவ்வொரு அலகுத் தென்துருவத்திலும் 4π சக்திவரைகள் சென்று முடிவடைகின்றன என்று கூறலாம்.

கணக்கியல் முறைகளைப் பிரயோகிப்பதற்காக வடதுருவத்தை மிகைத்துருவம் என்றும், தென்துருவத்தை குறைத்துருவம் என்றும் கொள்வது வழக்கம். எனவே m அலகுகள்கொண்ட வடதுருவத்தை m என்றும், அதே m அலகுகள்கொண்ட தென்துருவத்தை $-m$ என்றும் குறிப்பிடுவார்கள். இந்தச் சங்கேதத்தின் உபயோகம் இனி செல்லச் செல்ல நன்கு விளங்கும்.

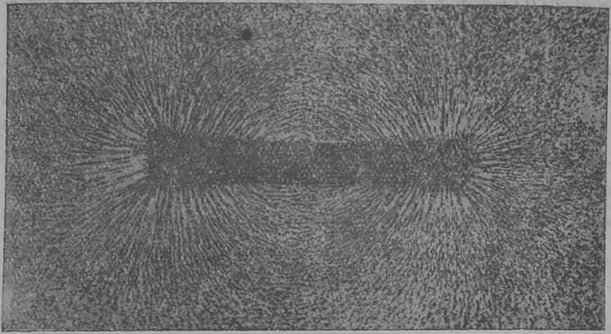
சக்திவரைகளை வரைதல் (mapping a magnetic field):—ஒரு காந்தச்சட்டத்தின் அருகிலுண்டாகும் புலத்தின் சக்திவரைகளை வரைவதற்கு இரண்டு முறைகள் உண்டு. (1) அரத்தூள் முறை. (2) திசைகாட்டி (Compass) முறை.

இவற்றை இங்கே சிறிது விவரித்துக் கூறுவோம்.

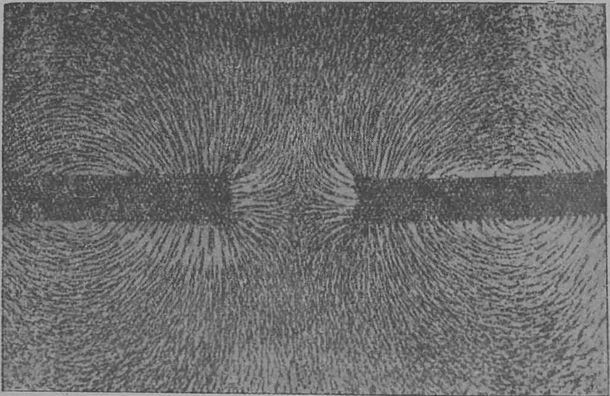
(1) அரத்தூள் முறை:—நிரந்தரக் காந்தச்சட்டத்தை மேஜையின்மீது படுக்கவைக்கவும். அதன்மீது ஒரு கண்ணாடித்தட்டை வைத்து, அதன்மேல் ஒரு காகிதத்தைப் பரப்பவும். ஒரு மஸ்லின் துணியில் அரத்தூளை மூட்டைகட்டி காகிதத்தின்மீது அது சீராகப் பரவும்படி உதறவும்.

இப்போது ஒரு பென்சிலால் மெதுவாகக் கண்ணாடியைத் தட்டினால் அரத்தூளெல்லாம் சக்திவரைகளின் திசையைக் காட்டிக் கோடு கோடாகப் பரவிநிற்கும்.

படங்களைப் பார்க்கவும். (படம் 380–382). அவை சக்தி வரைகளின் பொதுவான அமைப்புகளைக் காட்டுகின்றன.



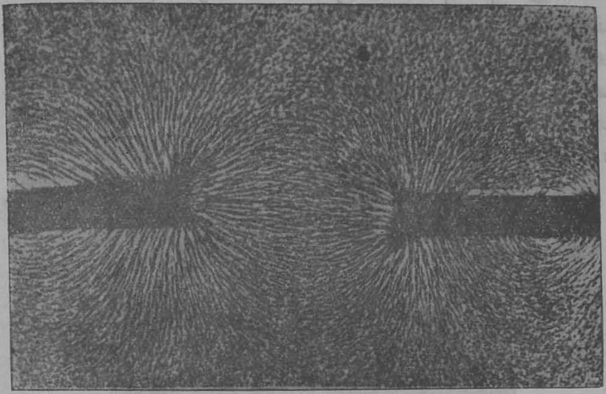
படம் 380



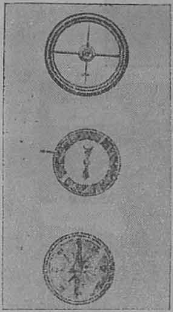
படம் 381

(2) திசைகாட்டி முறை :—ஒரு சிறு திசைகாட்டுங் கருவியை (படம் 383)க் காந்தப்புலத்தில் வைத்தால் அது காந்த சக்திவரைகளின் திசையைக் காட்டி

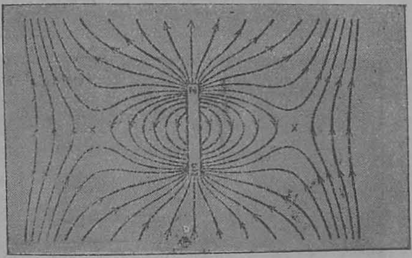
நிற்கும். இதைக்கொண்டு காந்த சக்திவரைகளை வரைய லாம். ஒரு காந்தச் சட்டத்தை ஒரு மரப்பலகையின்



படம் 382



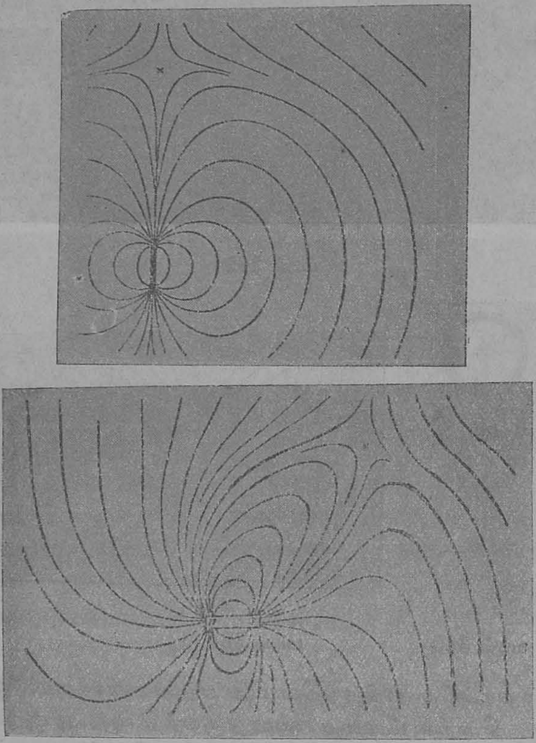
படம் 383



படம் 384 (1)

மேல் பரப்பிய காகிதத்தின்மீது படுக்கவைக்கவும். ஒரு சிறு திசைகாட்டியை வடதுருவத்திற்கு அருகில் வைத்து, அதன் இரு முனைகளுக்கும் நேர்கீழாகவுள்ள

காகிதத்தில், பென்ஸிலால் புள்ளியிட்டுக்கொள்ளவும். பிறகு திசைகாட்டியை நகர்த்தி, அதன் தென் துருவமானது முன்பு வடதுருவத்தின் கிழிட்டிருக்கும் புள்ளிக்கு நேராக வரும்படி வைத்து, இப்போது வடதுருவம் உள்ள இடத்திற்குக் கீழே மூன்ருவது புள்ளியிடவும். இம்மூன்ரும் புள்ளியின் மேலே தென்துருவம் வரும்படி வைத்து, வடதுருவத்தினடியில் நான்காவது புள்ளியிடவும். இப்புள்ளிகளையெல்லாம் முறையே ஒரு



படம் 384 (2, 3)

மெல்லிய தொடர்ந்த கோட்டினுல் சேர்க்கவும். இவ்வாறே வடதுருவத்தினருகே பல வேறிடங்களில் துவக்கி பல கோடுகளை வரையலாம். இவற்றில் சில தென்துருவத்தில் சென்று முடியும். இவ்வாறே தென்துருவத்தினின்றும் துவக்கிக் கோடுகளை வரையலாம். இவ்வரைகளின் அமைப்புகளில் சிலவற்றைப் படத்தில் பார்க்கலாம். (படம் 384 (1, 2, 3)).

சக்திவரைகளின் இயல்புகள் :—மேலே நாம் கண்ட சக்திவரைகளெல்லாம் எப்போதும் ஒரு காந்தத்தின் அருகில் இருக்கின்றனவென்றும், அவை இழுத்துக் கட்டப்பட்ட ரப்பர் நாண்களைப்போல நீளவாக்கில் பிகுவேறிருப்பதாயும், அகலவாக்கில் அவை ஒன்றையொன்று நெருக்கித் தள்ளுவதாகவும் மைகேல் பாராடே (Michael Faraday) காட்டினர். மாறுபட்ட துருவங்களுக்கிடையே அவற்றின் பிகுவே காந்தக்கவர்ச்சிக்குக் காரணம் என்றும், பக்கவாட்டிலே அவை பரஸ்பரம் நெருக்குதலே ஒத்த துருவங்கள் விலகியோடுவதற்குக் காரணம் என்றும் அவர் காட்டினர்.

பூமியின் காந்தப்புலம் :—பூமியே ஒரு பெரிய காந்தமென்று முன்பு கூறினேம். பூமியின் காந்தப்புலத்தினுலேயே திசைகாட்டிகள் ஒரு இடத்தில் எப்போதும் ஒரே திசையைக் காட்டுகின்றன. ஆனல் இந்தப் பூமியினது காந்தப்புலத்தின் வலிமையும், திசையும் இடத்துக்கிடம் மாறுகின்றன. ஆனல் ஒரு சிறிய எல்லைக்குட்பட்ட இடத்திலே அது சீராக இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். இக்காந்தப் புலத்தைப் படுக்கைத் திசையிலொன்றும், நிமிர்வைத் திசையிலொன்றுமாக இரண்டு பிரிநிலைகளாக வகுக்கலாம். இதன் படுக்கைப் பிரிநிலை H என்றும், நிமிர்வைப் பிரிநிலை V என்றும் குறிக்கப்படுவது மரபு. H, V என்பவற்றின் மதிப்பு இடத்துக்கிடம் மாறுபடுமென்பது வெளிப்படை.

ஒரு காந்தத்தின் இரு துருவங்களும் சமவலிமை கொண்டன :—ஒரு காந்த ஊசியை ஒரு அடைப்பான் துண்டில் இரு புறமும் வெளியே சமமாக நீண்டிருக்கும் படிச் செருகி நீரில் மிதக்கவிட்டால், அது நின்ற இடத்தினின்றும் நகராமல் சுழன்று தெற்கு வடக்காக நிற்கிறதென்று முன்பு கண்டோம். இதனால் அதன்மேல் தொழிற்படும் சக்திகளின் பயனிலை சூனியமென்று தெரிகிறது. ஒரு துருவத்தின்மீது தொழிற்படும் சக்தி Hm ஆயின், மற்றொரு துருவத்தின்மீது தொழிற்படும் சக்தி $-Hm$ ஆகும். எனவே, ஒரு காந்தத்தின் இரு துருவங்களும் சமமான வலிமை கொண்டனவாய் இருக்க வேண்டும். ஒன்றின் வலிமை m ஆயின், மற்றொன்றின் வலிமை $-m$ ஆகும். இவற்றுள் வடதுருவத்தை மிகைத்துருவமெனவும் தென்துருவத்தைக் குறைத் துருவமெனவும் கொள்வது வழக்கமென்று முன்பே கூறினோம்.

உதாரணம் 1. ஒரு காந்தப்புலத்திலே வைக்கப் பட்ட 15 அலகு வலிமை கொண்டதொரு காந்தத் துருவத்தின்மீது 3 டைன்கொண்ட சக்தி தொழிற்படுகிறது. காந்தப்புலத்தின் வலிமை காண்க.

காந்தத் துருவத்தின் வலிமை m என்றும், அது நிற்கும் புலம் H என்றும், அதன்மீது தொழிற்படும் சக்தி F என்றும் கொண்டால்,

$$Hm = F$$

கணக்கிலே கண்ட இராசிகளை ஈடிடவே

$$H \times 15 = 3$$

அல்லது $H = \frac{3}{15} = \frac{1}{5}$

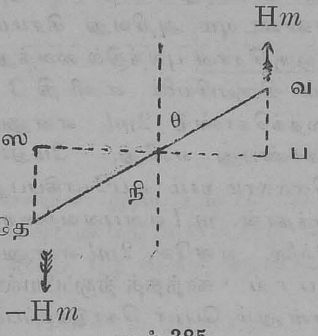
எனவே காந்தப்புலத்தின் வலிமை $\frac{1}{5}$ காஸ் ஆகும்.

அத்தியாயம் 3

காந்த அளவியல் (Magnetometry)

பூமியின் புலத்திலிடப்பட்ட ஒரு காந்தத்தின்மீது தொழிற்படும் சக்திகள் :—

வ தே என்பது ஒரு காந்தச் சட்டமென்றும், நி-யைச் சுற்றி படுக்கைவாக்கில் சுழலும்படி அது பிணிக்கப்பட்டிருக்கிறதென்றும் கொள்வோம். (படம் 385). மேலும் இக்காந்தத்தின் நீளம் $2l$ என்றும், அதன் துருவங்களின் வலிமை m என்றும், இக்காந்தம் H என்னும் சீரான ஒரு புலத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறதெனவும் கொள்வோம். அதைச் சீரான புலத்தினின்று θ என்ற கோணமுண்டாகும்படி திருப்புவோம்.



படம் 385

இப்போது Hm என்னும் சக்தி வ என்ற துருவத்தின்மீது தொழிற்பட்டு, காந்தத்தை இடம்புரியாகச் சுழற்ற முயலும். இவ்வாறே −Hm என்ற மற்றொரு சக்தி தே என்ற துருவத்தின்மீது தொழிற்பட்டு, அதை இடம்புரியாகச் சுழற்ற முயலுகிறது. இவ்விரண்டு சக்திகளும் சேர்ந்து ஒரு இரட்டை (Couple) ஆகும். இவ்விரட்டையின் சிறை (arm) ஸ ப ஆகும். ஆனல் ஸ ப = $2l$ cos ப நி வ = $2l \sin \theta$.

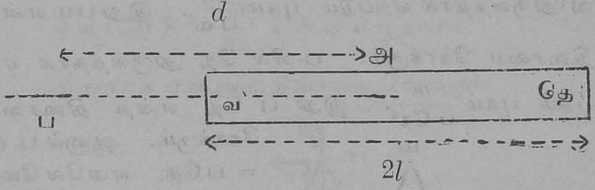
எனவே, இவ்விரண்டின் திருப்பியல் $Hm\ 2l\ \mathrm{Sin}\ \theta$. இது காந்தத்தைச் சுழற்றி அதை H என்னும் புலத்திற்கு இணையாக நிற்கும்படி செய்ய முயலுகிறது. காந்தம் ஒரு அலகு வலிமைகொண்ட புலத்திற்குக் குறுக்காக நின்றால், அதன்மீது தொழிற்படும் இரட்டையின் திருப்பியல் $2ml$ ஆகும். எனவே, இத்திருப்பியலைக் கணக்கிடுவதற்கு m என்னும் துருவ பலமும், $2l$ என்னும் தூரமும் தெரியவேண்டும். ஆனால் சாமானியமாய் இத்துருவங்கள் இருக்குமிடங்களையோ அல்லது அவற்றின் வலிமைகளையோ காண்பது எளிதல்ல. அதனால் m, $2l$ என்ற இரண்டையும் அறிவது சிரமம். ஆனால் ஒரு காந்தத்தை ஒரு சீரான புலத்தில் வைத்து, அதன்மீது தொழிற்படும் திருப்பியலை எளிதிலே அளந்துவிடலாம். அதைக்கொண்டு $2ml$ என்னும் இராசியின் அளவைக் காண்பது எளிது. மேலும் காந்தவியல் கணக்குகளிலெல்லாம் நாம் உபயோகிப்பது $2ml$ என்னும் இராசியைத்தான். m, l என்பனவற்றைத் தனியாய் உபயோகிப்பதில்லை. எனவே, $2ml$ என்னும் இவ்விராசிக்குச் சிறப்பாய் 'காந்தத் திருப்பியல்' (magnetic moment) என்னும் பெயர் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதை M என்னும் எழுத்தால் குறிப்பது வழக்கம். காந்தத் திருப்பியலின் வரைவிலக்கணத்தை எடுத்துரைக்கும் முறை வருமாறு :—

ஒரு காந்தத்தின் திருப்பியல் என்பது, அக்காந்தத்தை ஒரு அலகு வலிமைகோண்ட சீரான புலத்திலே, அப்புலத்திற்குச் செங்குறுக்காகத் திருப்பி நிறுத்துவதற்கு வேண்டிய ஓர் இரட்டையின் திருப்பியல் ஆகும்.

ஒரு காந்தத்தைச் சார்ந்த புலம் :—இப்புலத்தின் வலிமையை எளிதாகக் கணக்கிடக்கூடிய இரண்டிடங்

களில் மட்டும் காண்போம். முதலாவது காந்த இருசின் கோட்டிலுள்ள ஓரிடத்திலும், இரண்டாவது காந்த இருசின் லம்ப ஈராரிக்கோட்டி லுள்ள ஓரிடத்திலும் கணக்கிடுவோம். இவற்றை முறையே 'முனைநோக்கு நிலை' (end-on position) எனவும், 'புறநோக்கு நிலை' (side-on position) எனவும் கூறப்படும்.

(1) முனைநோக்கு நிலை :—(படம் 386). வ தே ஒரு காந்தமெனவும், அதன் துருவவலிமை m எனவும், துரு



படம் 386

வங்களின் இடைத்தூரம் $2l$ எனவும் கொள்வோம். ப என்பது தே வ என்னும் கோட்டில் உள்ளது. அ என்பது தே வ-க்கு நடுமையம். அ ப-வின் நீளம் d.

ப-வில் வ துருவத்தால் ஏற்பட்ட புலம் $\frac{m}{(d-l)^2}$

அதேயிடத்தில் தே ஆல் ஏற்பட்ட புலம் $-\frac{m}{(d+l)^2}$

இவ்விரண்டு புலங்களின் பயனிலை

$$F = m\left\{\frac{1}{(d-l)^2} - \frac{1}{(d+l)^2}\right\} = \frac{4mld}{(d^2-l^2)^2}$$

ஆனால் $2ml = M$

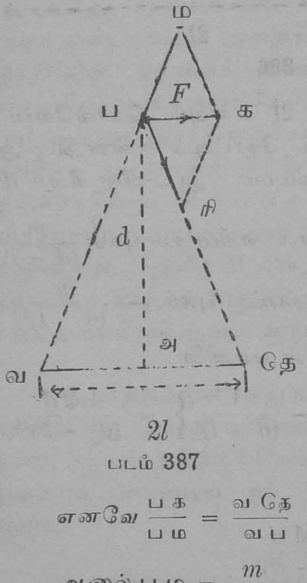
ஆகையால் $F = \frac{2Md}{(d^2-l^2)^2}$

இதுவே ப-வில் உள்ள காந்தப்புலத்தின் வலிமையாகும்.

l-ஐ நோக்க d மிகப் பெரியது ஆனால், கீழ் எண்ணிலுள்ள l^2 என்னும் பகுதியை நீக்கிவிட்டு, $F = \frac{2M}{d^3}$ என்று கொள்ளலாம்.

இப்புலத்தின் திசை வ ப-ஆகும்.

(2) புறநோக்கு நிலை :—(படம் 387). இதிலும் மேலே கண்ட குறிகளையே கொள்வோம். ப-வில் வ் துருவத்தால் ஏற்படும் புலம் $\frac{m}{\text{ப வ}^2}$. இது பம என்ற திசையை நோக்கும். ப-வில் தே துருவத்தால் ஏற்படும் புலம் $\frac{m}{\text{ப தே}^2}$. இது ப தே என்ற திசையை நோக்கும். ஆனால் ப வ = ப தே. எனவே மேற்கண்ட இரண்டு புலங்களும் சமவலிமை கொண்டவை. ஆகையால் ப ம = ப ரி என்று கொண்டு நாம் ஒரு இணைகரம் வரைந்தால், அதன் மூலைவரையாகிய ப க என்பது பயனிலைப் புலத்தைக் குறிக்கும். தவிர ப ம க, வ ப தே என்னும் முக்கோணங்கள் வடிவொத்தவை.



படம் 387

எனவே $\frac{\text{ப க}}{\text{ப ம}} = \frac{\text{வ தே}}{\text{வ ப}}$ $\therefore$ ப க = ப ம $\frac{\text{வ தே}}{\text{வ ப}}$

ஆனால் ப ம = $\frac{m}{\text{வ ப}^2}$

எனவே $ப\,க = \frac{m}{வ\,ப^2} \times \frac{வ\,தே}{வ\,ப}$

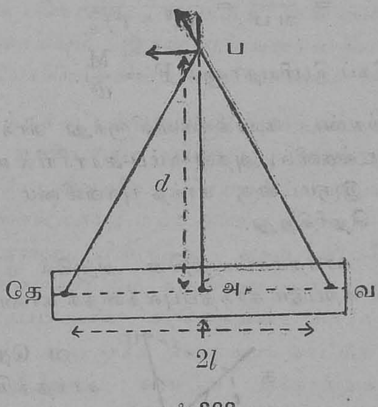
$= \frac{M}{வ\,ப^3}$. முன்போலவே அப $= d$ என்று கொண்டால் $வ\,ப^2 = (d^2 + l^2)$. பயனிலைப்புலம்

$$F = \frac{M}{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}$$

l-ஐ நோக்க d மிகப் பெரியதாயின்

இதையே $F = \frac{M}{d^3}$ என்று எழுதலாம்.

இது ப க என்னும் திசையை நோக்கும்.



படம் 388

புறநோக்கு நிலை:—மற்றொரு நிருபணம் (படம் 388). ப-வில் உள்ள காந்த சக்தியின் பிரிநிலைகள் இரண்டாகும்.

(1) வ ப என்னும் திசையை நோக்கும் $\frac{m}{வ\,ப^2}$ என்னும் சக்தி.

(2) ப தே என்னும் திசையை நோக்கும் $\frac{m}{\text{ப தே}^2}$ என்னும் சக்தி. சமவலிமை கொண்ட இவ்விரண்டு பிரிநிலைகளில் ஒவ்வொன்றையும், அ ப என்ற திசையிலும் அதற்குச் செங்குறுக்காகவும், இரண்டு பிரிநிலைகளாகப் பிரிக்கலாம். அ ப என்னும் திசையிலுள்ள பிரிநிலைகள் ஒன்றையொன்று அழித்துவிடுகின்றன. அ ப வுக்கு செங்குறுக்கான பிரிநிலைகளின் தொகை

$$F = \frac{m}{\text{வ ப}^2} \cos \text{ப வ அ} + \frac{m}{\text{தே ப}^2} \cos \text{ப தே அ}$$

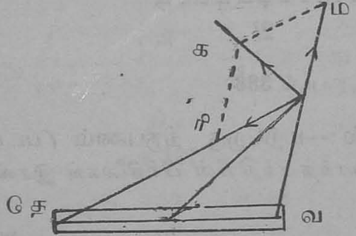
$$= \frac{2m}{\text{வ ப}^2} \times \frac{\text{அ வ}}{\text{வ ப}}$$

$$= \frac{2\ ml}{\text{வ ப}^3} = \frac{M}{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}$$

d மிகப் பெரியதானல் $F = \frac{M}{d^3}$.

மேற்கண்ட கணக்குகளிலிருந்து காந்த இருசில் உள்ள இடங்களில், அதன் லம்ப-ஈரரிரியில் உள்ள இடங்களைவிட இருமடங்கு காந்த-புலவலிமை இருக்கிறதென்று தெரிகிறது.

ஒரு காந்தச்சட்டத்தின் அருகில் ஏதாவதொரு இடத்தில் ஏற்படும் காந்தப்புலத்தைக் காண :—



படம் 389

வ தே என்னும் காந்தத்திற்கு அருகிலுள்ள ப என்னும் ஏதேனுமொரு இடத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். (படம் 389). இங்கு ஏற்படும் புலம் வ, தே என்னு மிடங்களில்

முறையே உள்ள $m, -m$ என்னும் துருவங்களால் ஏற்பட்ட சக்திகளின் பயனிலையாகும்.

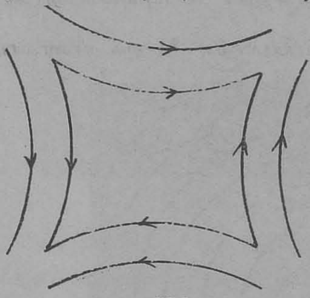
வ வில் உள்ள m என்னும் துருவத்தால் ஏற்பட்ட சக்தி $\frac{m}{\text{வப}^2}$. இது பம வை நோக்கியது. தே-இல் உள்ள $-m$ என்னும் துருவத்தால் ஏற்பட்ட சக்தி $-\frac{m}{\text{பதே}^2}$ இது பதே-ஐ நோக்கியது. பம என்பது $\frac{m}{\text{பவ}^2}$-ஐக் குறிக்கட்டும். இதே அளவில் $\frac{m}{\text{பதே}^2}$ ஐக் குறிக்கும்படியாக பரி யை எடுத்துக்கொள்ளவும். பம, பரி-க்களை சிறைகளாகக் கொண்ட பமகரி என்னும் இணைகரத்தை வரையவும். இதன் மூலைவரையாகிய பக பயனிலைச் சக்தியாகிய ப-வின் புலவலிமையைக் குறிக்கும்.

ஒரு காந்தச்சட்டம் பூமியின் புலத்தில் வைக்கப்பட்டபோது உண்டாகும் பயனிலைப் புலத்தை வரைதல் :—இச்சோதனைகளைச் செய்யும்போது கையாளப்படும் காந்தங்களல்லாத மற்ற எல்லா இரும்புச் சாமான்களையும் அண்டையிலிருந்து அகற்றிவிடவேண்டும். ஒரு சிறு திசைகாட்டும் கருவியை ஒரு மரப்பலகையின்மீது பரப்பியுள்ள காகிதத்தின் மேலே எங்கே வைத்தாலும், அது ஒரே திசையைக் காட்டுகிறது என்பதை நாமறிவோம். எனவே அக்காகிதத்தின்மீது காந்த ஊசி காட்டும் திசைக்கு இணையாகப் பல நேர் கோடுகளை வரைந்தால், அவ்வரைகளே பூமியின் புலத்தைக் காட்டுவனவாகும்.

நிற்க, இதே பலகையின்மீது ஒரு காந்தச்சட்டத்தை வைத்தால் நிலைமை முற்றிலும் மாறிவிடுகிறது. இப்போது காந்தவரைகள் பலவிதமாக வளைந்து செல்லுகின்றன. இவற்றை வரையும் முறையை இனிக்

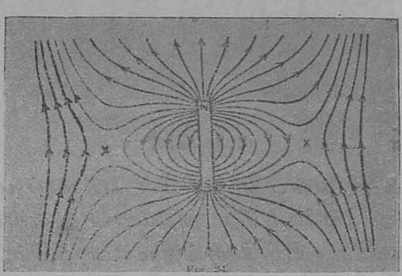
காண்போம். முதலில் காந்தச்சட்டத்தை வடதுருவம் வடக்கை (காந்தவியல்) நோக்கும்படியாகவும், தென் துருவம் (காந்தவியல்) தெற்கை நோக்கும்படியாகவும் வைக்கவும். அதன் விளிம்புவரையைத் தாளின்மீது வரைந்துகொள்ளவும். இதனால் பிறகு காந்தச்சட்டம் கைதவறுதலாகத் தன்னிடத்தை விட்டு நகர்ந்துவிட்டா லும், பிறகு அதே இடத்தில் அதை வைப்பது சாத்திய மாகும். பிறகு ஒரு சிறிய திசைகாட்டியைக்கொண்டு காந்தவரைகளை வரையவும். வரைகள் அதிக நெருக்க மாகவும் அதிக விலக்கமாகவும் இல்லாது கூடியவரை சீராக இருக்கும்படி பார்த்து வரையவும். இவ்வாறு வரையப்பட்ட படத்தைப் பார்க்கவும். காந்தச்சட் டத்திற்கு அருகில் இச்சட்டத்திற்குரிய வரைகளே பெரிதும் ஆக்கம் பெற்றிருக்கின்றன. தூரப்போகப் போக பூமியின் காந்தவரைகள் ஆக்கம் பெறுகின்றன. இவ்வரைகள் ஒன்றையொன்று குறிக்கிடுவதில்லை; அவ் வாறு குறுக்கிட்டால் குறிக்கிடும் இடத்தில் காந்தப்புலம் இரண்டு திசைகளை நோக்கி நிற்கவேண்டியிருக்கும். இது நிகழாதாகையால் காந்தவரைகள் ஒன்றை யொன்று குறிக்கிடுவதில்லை. பொதுவாகக் காந்தப் புலத்திலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியின் மூலமாகவும் ஒரு காந்தவரை செல்லும். ஆனால் இந்த விதிக்குச் சில விலக்குகள் உண்டு. சில புள்ளிகளின் மூலமாகக் காந்த வரைகள் செல்லுவதேயில்லை. எல்லா வரைகளும் அப் புள்ளிகளைவிட்டு ஒதுங்கி வளைந்தே செல்லுகின்றன. இவ்வாறுள்ள புள்ளிகளைச் சூனியப் புள்ளிகள் (Null points) என்பார்கள். இப்புள்ளிகளிலே காந்தப்புலத் தின் வலிமை சூனியமாகும். இப்புள்ளிகளின் அண்டை யில் காந்தப்புலம் மிகமெலிந்து இருக்கும். எனவே அவற்றைக் காண்பதும், அவ்விடங்களிலே காந்த வரை களை வரைவதும் மிகச் சிரமம். ஆகையால் இப்புள்ளி களுக்கு அருகே மிகக் கவனமாகவும் மெதுவாகவும்,

படிப்படியாக முன்னேறிச் செல்லவேண்டும். கடைசியில் இச்சூனியப்புள்ளிகள் ஒரு உட்குழிவாக வளைந்த நாற்கோணத்தால் சூழப்பட்டிருப்பது தெரியவரும். (படம் 390). இந்நாற்கோணத்தின் எல்லையைச் சுருக்கிக்கொண்டேபோய் × என்னும் சூனியப்புள்ளியைக் கூடியவரை திருத்தமாகக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். இவ்வாறு வரையப்பட்ட பயனிலைப்புலத்தின் படத்தைப் பார்க்கவும் (படம் 391).



படம் 390

சூனியப் புள்ளிகளிலே சட்டக்காந்தத்தின் புலமும் பூமியின் புலமும் ஒன்றையொன்றை எதிர்த்து அழிந்து விடுகின்றன. மேலே கண்டவாறு சட்டக்காந்தத்தைத் தெற்குவடக்காக வடதுருவம் வடக்கை நோக்கும்



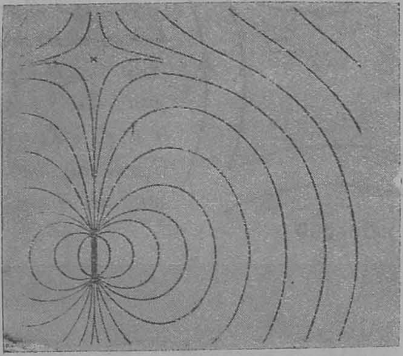
படம் 391

படியும் தென்துருவம் தெற்கை நோக்கும்படியும் வைப்போம். இப்போது சூனியப்புள்ளிகள் காந்தச்சட்டத்தின் இருசைச் செங்குறுக்காக இரு கூறுக்கும் கோட்டின்மீது, இருபுறங்களிலும் ஒரே தூரத்தில் தோன்

றும். ஆனால் தென்துருவம் வடக்கை நோக்க வட துருவம் தெற்கை நோக்கும்படி வைத்தால், இப்புள்ளிகள் காந்தஇருசின் நீட்சியின்மீது இருபுறங்களிலும் ஒரே தூரத்தில் தோன்றும். (படம் 392). இவ்விரண்டு நிலைகளிலும் காந்தச்சட்டத்தின் மையத்திலிருந்து சூனியப்புள்ளிகளின் தூரம் முறையே d_1, d_2 என்று கொண்டால்

$$H = \frac{M}{d_1^3}\,;\ H = \frac{2\,M}{d_2^3}$$ என்னும் உறவுகளைக்கொண்டு

காந்தச்சட்டத்தின் திருப்பியலாகிய M-ஐக் காணலாம்.

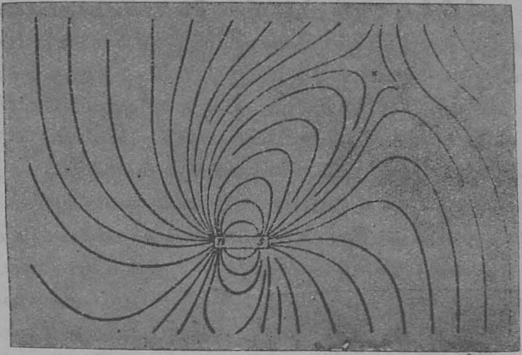


படம் 392

இதில் H என்பது பூமியின் படுகைப் புலமாகும். ஆனால் d-ஐ நோக்க l மிக அற்பமானது என்பது உண்மையில்லாவிட்டால், திருத்தமான வாய்பாடுகளைக் கையாள வேண்டும்.

காந்தச்சட்டத்தைக் கிழக்கு மேற்காக வைத்து இதே பரிசோதனையினால் காந்தப்புலத்தை வரையலாம். இவ்வாறு தென்துருவம் கிழக்கை நோக்குமாறு வைத்து வரையப்பட்ட படமொன்றைப் பார்க்கவும். (படம் 393).

சூனியப்புள்ளிகளின் நிலை படத்தில் கண்டவாறு இருக்கும்.

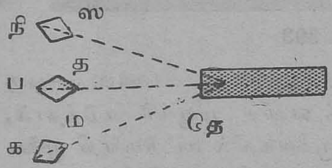


படம் 393

காந்தத்தில் துருவநிலைகளைக் காணல்.—ஒரு காந்தச்சட்டத்தை அரத்தூளில் முழுக்கி எடுத்தால், அரத்தூள் சட்டத்தின் முனைகளில் மட்டுமன்றி முனையிலிருந்து சிறிது தூரம் வரையிலும், சிறிது ஒட்டிக் கொண்டிருப்பதைப் பார்த்தோம். இதனால் துருவங்கள் எனப்படுவன வரையறுத்துக் காட்டக்கூடிய புள்ளிகள் அல்லவென்றும், அவை சிறிது இடத்தை வியாபித்துக் கொண்டிருக்கின்றன வென்றும் தெரிகிறது. ஆனால் காந்தச்சட்டத்திற்கு அருகில் வைக்கப்பட்ட பல சிறு காந்தங்களின் கவர்ச்சி தவிர்ச்சி சக்திகள் தொழிற்படும் புள்ளிகளே அச்சட்டத்தின் காந்தத்துருவங்களாகும் என்று வரைவிலக்கணம் கூறலாம். இவ்விலக்கணத்தை மேற்கொண்டால் துருவங்களின் நிலையைக் காணுதல் எளிதாகும்.

முதலில் காந்த துருவகத்தைக் கண்டுபிடித்து, அதன் திசையைக் காட்ட மேஜையின்மீது சாக்கட்டியால் ஒரு கோடு வரைந்துகொள்ளவும். இப்பரிசோ

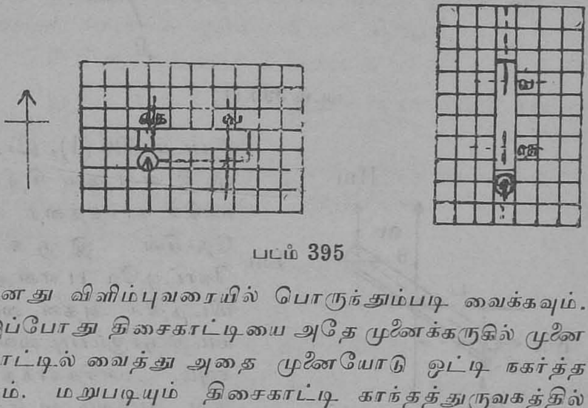
தனையில் கையாளப்படும் சிறு காந்தஊசி காந்ததுருவகத்தில் நிற்கவேண்டும். இல்லாவிட்டால் அவ்வூசியின் மீது பூமியின் புலமும் தொழிற்படுவதால், அது சட்டக் காந்தத்தின் சக்தியின் திசையிலே நிற்கவியலாதுபோய் விடும். இதற்காகவே மேலே குறிப்பிட்ட துருவகத்தை வரையவேண்டியிருக்கிறது. ஒரு மரப்பலகையின்மீது ஒரு வெள்ளைத்தாளைப் பரப்பித் தைத்துவிடவும். இத் தாளின்மீது ஒரு சட்டக்காந்தத்தை வைத்து, அதன் விளிம்பு வரையைத் (outline) தாளில் வரைந்துகொள்ளவும். ஒரு சிறு திசைகாட்டியைக் காந்தச்சட்டத்தின் ஒரு முனைக்கருகில் வைக்கவும். இத்திசை காட்டி காந்த துருவகத்தில் வந்து நிற்கும்படி பலகையைத் திருப்பி அதன் முனைகளுக்கடியில் நி ஸ என்னும் புள்ளிகளை இடவும். (படம் 394). திசைகாட்டியை வேறிரண்டு இடங்களில் வைத்து இதே பரிசோதனையைத் திரும்பச் செய்து ப த, க ம என்னும் புள்ளிகளை இடவும். இப்போது காந்தச்சட்டத்தை எடுத்துவிட்டு நி ஸ, ப த, க ம என்னும் கோடுகளை வரைந்து அவற்றை நீட்டினல், அவை ஒரு புள்ளியில் ஒன்றுகூடுவதைக் காணலாம். அதுவே காந்தச்சட்டத்தின் ஒரு துருவமாகும். இவ்வாறே அச்சட்டத்தின் மற்றொரு முனையில் உள்ள துருவத்தையும் காணலாம்.



படம் 394

துருவநிலைகளைக் காணும் மற்றொரு முறை வருமாறு:—ஒரு சதுரங்கத் தாளை மரப்பலகையின்மீது பரப்பித் தைத்துவிடவும். இந்தத் தாளிலுள்ள ஒரு வகை இணைவரைகள் காந்தத் துருவகத்தில் வரும்படி

திருப்பவும். காந்தச்சட்டத்தை இதன்மீது வைத்து அது காந்தத் துருவகத்திற்குச் செங்குறுக்காக இருக்கும்படி செய்யவும். திசைகாட்டியை ஒரு முனைக்கருகில் பக்கவாட்டில் வைத்து அதைக் காந்தச்சட்டத்தை ஒட்டிவரும்படி நகர்த்தவும். திசைகாட்டி காந்தத் துருவகத்தில் வந்தவுடன் நிறுத்தி அதன் முனைகளுக்கடியில் புள்ளிகளையிட்டுக்கொள்ளவும். (படம் 395). இப்புள்ளிகளைச் .சேர்த்துக் கோடிழுக்கவும். காந்தச்சட்டத்தை எடுத்துவிட்டுப் பலகையைத் திருப்பி, மற்றொரு வகை இணைவரைகள் காந்தத் துருவகத்தில் வரும்படி செய்யவும். மறுபடியும் காந்தச்சட்டத்தைத்



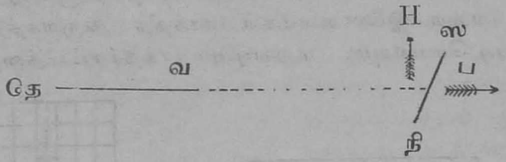
படம் 395

தனது விளிம்புவரையில் பொருந்தும்படி வைக்கவும். இப்போது திசைகாட்டியை அதே முனைக்கருகில் முனைவாட்டில் வைத்து அதை முனையோடு ஒட்டி நகர்த்தவும். மறுபடியும் திசைகாட்டி காந்தத்துருவகத்தில் வந்தவுடன், அதன் முனைகளுக்கடியில் புள்ளிகளையிட்டு அவற்றை ஒரு நேர்கோட்டினால் சேர்க்கவும். இவ்விரண்டு நேர்கோடுகளும் ஒன்றையொன்று வெட்டுமிடமாகிய புள்ளியே துருவநிலையாகும். இவ்வாறே மற்றொரு துருவத்தின் நிலையையும் காணலாகும்.

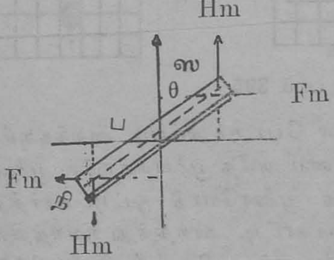
ஒரு காந்தச்சட்டத்தின் திருப்பியலைப் பூமியின் புலவலிமையோடு ஒப்பிட்டு அளப்பதற்கு, மற்றொரு

சிறிய இலேசான ஊசிக் காந்தத்தை உபயோகிக்கலாம். இதை இரண்டு முறைகளில் செய்யலாம். இவை முறையே (1) காஸின் A-நிலை (A-position of Gauss) (2) காஸின் B-நிலை (B-position of Gauss) எனப் படும். அவற்றின் விவரம் வருமாறு:—

(1) **A-நிலை**:—வ தே என்னும் காந்தச்சட்டத்தைக் கிழக்கு மேற்காக பூமியின் H என்னும் காந்தப் புலத்திற்குச் செங்குறுக்காக இருக்கும்படி வைக்கவும்.



படம் **396** (1)



படம் **396** (2)

(படம் 396 (1), (2)). ஸ நி என்னும் சிறிய ஊசிக் காந்தத்தை வ தே-யின் இருசுக் கோட்டிலே ப என்னுமிடத்தில் அதன் மையம் இருக்கும்படி வைக்கவும். ஊசிக்காந்தத்தின் துருவம் m என்றும் அதன் நீளம் $2l$ என்றும் கொள்வோம்.

இப்போது ஸ நி-யின்மீது இரண்டு இரட்டைகள் தொழிற்படுகின்றன.

(1) காந்தச்சட்டத்தின் புலத்தாலுண்டாகும் இரட்டை ஊசியை வலம்புரியாகச் சுழற்ற முயலுகிறது.

(2) பூமியின் காந்தப்புலமாகிய H-யினுல் உண்டாகும் இரட்டை ஊசியை இடம்புரியாகச் சுழற்ற முயலுகிறது. இவ்விரண்டு இரட்டைகளும் துலைப்படும் படியாகக் காந்த ஊசி பூமியின் புலத்தோடு θ என்னும் கோணமுண்டாக நிற்கிறது. காந்த ஊசி சிறியதாய் இருப்பதால், அதன் துருவங்களின்மீது தொழிற்படும் காந்தப்புலத்தின் வலிமை ப என்னுமிடத்திலுள்ள புல வலிமையேயாகுமென்று கொள்ளலாம்.

ப என்னுமிடத்தில் காந்தச்சட்டத்தின் புலம் F என்று கொண்டால், காந்த ஊசியின் ஒவ்வொரு துருவத்திலும் Fm அளவுள்ள சக்திகள் எதிர்த்திசைகளில் தொழிற்படும். அவற்றினிடைப்பட்ட தூரம் $2l\cos\theta$ ஆகும். எனவே இவ்விரண்டின் திருப்பியல்

$$2\,F\,m\,l\cos\theta = F\,M\cos\theta.$$

இதில் $M = 2\,m\,l$. இது காந்தஊசியின் காந்தத் திருப்பியல்.

பூமியின் புலத்தினுலேற்படும் இரட்டையின் திருப்பியல் $H\,M\sin\theta$ ஆகும். இவ்விரண்டு திருப்பியல்களும் துலைப்படுவதால்,

$$F\,M\cos\theta = H\,M\sin\theta.$$

அல்லது $F = H\tan\theta$.

இதில் F என்னும் புலத்தின் வலிமை $= \dfrac{2\,M'D}{(D^2 - L^2)^2}$

இதில் M' என்பது காந்தச்சட்டத்தின் காந்தத் திருப்பியல்.

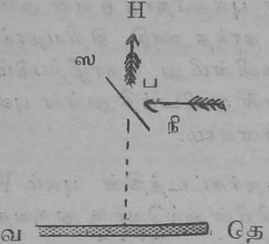
இதை மேற்கண்ட உறவில் ஈடிட

$$\frac{M'}{H} = \frac{(D^2 - L^2)^2}{2D}\tan\theta.$$

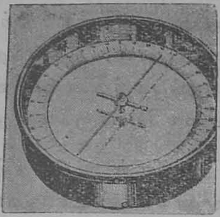
D-ஐ நோக்க L மிகச் சிறியதானுல்

$$\frac{M'}{H} = \frac{D^3}{2}\tan\theta \text{ ஆகும்.}$$

(2) காஸின் **B**-நிலை :—இதில் காந்த ஊசியானது காந்தச்சட்டத்திற்குப் புறநோக்கு நிலையில் வைக்கப் படும். படத்தைப் பார்க்கவும். (படம் 397).



படம் 397



படம் 398 (1)

இப்போதும் காந்த ஊசியானது இரண்டு இரட்டை களுக்கிடையில் துலைப்பட்டுப் பூமியின் புலத்தோடு θ என்னும் கோணமுண்டாக நிற்கிறது.

ப-வில் காந்தச்சட்டத்தின் புலம் F என்று கொண் டால், இப்புலத்தால் ஊசியின்மீது ஏற்படும் இரட்டை யின் திருப்பியல் $F M \cos\theta$ ஆகும்.

இவ்வூசியின்மீதே பூமியின் புலத்தினுல் ஏற்படும் இரட்டையின் திருப்பியல் $H' M \sin\theta$. இவ்விரண்டு திருப்பியல்களும் துலைப்படுவதால்,

$$F M \cos\theta = H M \sin\theta.$$
$$F = H \tan\theta.$$

இந்த நிலையில் $F = \dfrac{M'}{(D^2 + L^2)^{\frac{3}{2}}}$; M′ என்பது சட்டத்தின் காந்தத் திருப்பியல்.

ஆகையால் $\dfrac{M'}{H} = (D^2 + L^2)^{\frac{3}{2}} \tan\theta$ ஆகும்.

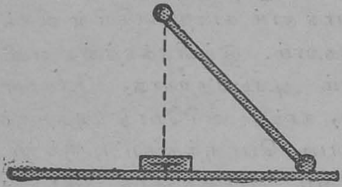
இதில் D-ஐ நோக்க L மிகச் சிறியதானுல்

$\dfrac{M'}{H} = D^3 \tan\theta$ ஆகும்.

விலகு காந்தமானி (Deflection Magnetometer):—(படம் 398 (1)) இதிலே ஒரு சிறிய காந்த ஊசி படுக்கைத் தளத்தில் தன்வயமாய்த் திரும்பும்படி ஏற்றி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதனடியில் ஒரு வட்டவடிவான அளவி செதுக்கப்பட்ட தட்டு ஒன்று உண்டு. இவையெல்லாம் வட்டமான ஒரு உலோகப் பெட்டியினுள் வைக்கப்பட்டு ஒரு கண்ணாடி மூடியால் மூடப்பட்டிருக்கும். இதன் வழியாக நாம் காந்த ஊசியின் விலக்கத்தைப் பார்த்து அளக்கலாம். இவ்விலக்கத்தை எளிதாகவும் திருத்தமாகவும் அளப்பதற்காக, லேசான நீண்ட சூசிகை ஒன்று, காந்த ஊசியோடு அதற்குச் செங்குறுக்காக நிற்கும்படி பொருத்தப்பட்டிருக்கும். நிலை பெயர்ச்சிப் பிழையை நீக்குவதற்காக இக்கருவியின் அடிப்பாகத்தில் ஒரு ஆடி பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இதில் வாசகங்களைக் காணும்போது சூசிகை தன் படிவத்தை தானே மறைக்கும்படியாக நமது கண்களை வைத்துக்கொண்டு பார்க்கவேண்டும். மேலும் சூசிகையின் இரு முனைகளுக்குண்டான வாசகங்களையும் பார்க்கவேண்டும்.

ஒரு ஒற்றைத் துருவத்தின் வலிமையை அளத்தல். காந்தமானியினுதவியால் காந்தப்புலங்களை ஒப்பிடுதல்:—காந்தமானியால் காந்ததுருவகத்தைக் கண்டுபிடித்து அதற்குச் செங்குறுக்காக இருக்கும்படி, ஒரு மீட்டர் அளவியை மேஜையின்மீது படுக்கவைக்கவும். காந்தமானியை அளவியின்மீது அதன் மத்தியில் வைக்கவும். அளவியின் மத்தியப் பிரிவின்மீது காந்தமானியின் மையம் பொருந்தும்படி சரிப்படுத்தி வைக்கவும். அதை இருந்த இடத்திலேயே திருப்பி, சூசிகையின் கைகள் சூனியப் பிரிவைக் காட்டும்படி வைக்கவும். இரு நுனிகளிலும் சிறு உருண்டைகளைக் கொண்ட ராபின்ஸன் காந்தமெனப்படும் ஒருவகைக்

காந்தம் இச்சோதனையில் கையாளப்படும். நாம் ஒரு ஒற்றைத் துருவத்தின் விளைவுகளைக் காணவேண்டியிருப்பதால், மற்றொரு துருவத்தை அதன் விளைவுகள் காந்தமானியில் தோன்றாத வகையில் நாம் வைக்க வேண்டும். இதற்காக மேற்குறிப்பிட்ட காந்தத்தைச் செங்குத்தாக ஒரு மரத்தாங்குகாலில் பிடித்துவைக்கவும். மேலே உள்ள துருவம் காந்தமானியின் மையத்திற்கு நேர் மேலே வரும்படியாகவும், மற்றொரு துருவம் காந்தமானிக்குச் சிறிது தூரத்தில் மீட்டர் அளவியைத் தொடும்படியாகவும், அதைச் சிறிது படத்தில் கண்டபடி



படம் 398 (2)

(படம் 398 (2)) சாய்த்துப் பிடிக்கவும். இந்த நிலையில் கீழேயுள்ள துருவத்தால், காந்தமானி காந்தத்திற்கு அருகில் ஏற்படும் புலத்தின் வலிமை $F = \frac{m}{d^2}$ ஆகும். இதில் m என்பது காந்தத்தின் துருவ வலிமை. d என்பது இடைப்பட்ட தூரம். இதனால் θ என்னும் ஓர் விலக்கம் உண்டாகும். $F = H \tan\theta$ என்னும் உறவால் அறியலாம்.

ஆகையால் $\frac{m}{d^2} = H \tan\theta$ என்றாகும்.

$\therefore d^2 \tan\theta = \frac{m}{H}$ இது ஒரு மாறிலி.

எனவே, நாம் d, θ என்னும் இராசிகளை மாற்றிப் பல வாசகங்களை எடுத்துக் கணக்கிட்டால், எப்போதும் $d^2 \tan\theta$ மாறிலியாய் வரவேண்டும்.

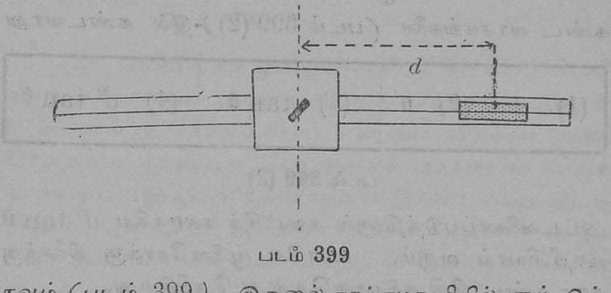
இவ்வாறு எடுத்த வாசகங்களை அட்டவணைப்படுத்தவும். (படம் 398 (3)) இதில் கடைசிக்கலம் மாறிலி

(1) d	(2) θ	(3) $\tan\theta$	(4) $d^2 \tan\theta$

படம் 398 (3)

யாய்க் கிடைக்குமானல், இச்சோதனை காந்த சக்திகளின் வருக்க எதிர்விகித விதியை நிரூபிப்பதாகக் கொள்ளலாம்.

ஒரு காந்தச் சட்டத்தால் ஏற்படும் புலம் :— காந்தமானியையும் மீட்டர் அளவியையும் முன் சோதனையில் கூறியபடி சரிப்படுத்தி வைக்கவும். நன்ருகக் காந்தமேற்பட்ட குட்டையான ஒரு காந்தச்சட்டத்தை எடுத்துக்கொள்ளவும். அதைக் காந்தமானியிலிருந்து சிறிது தூரத்தில் அளவியின்மீது நீளவாட்டில் வைக்



படம் 399

கவும் (படம் 399). இதனல் காந்தமானியில் ஏற்படும் விலக்கத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். சூசிகையின் இரு முனைகளின் வாசகங்களையும் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். இப்போது சட்டக்காந்தத்தின் துருவங்களை மாற்றிவைக்கவும். இப்போது விலக்கம் எதிர்த் திசையில் ஏற்படும். இப்பொழுதும் சூசிகையின் முனைகளின் வாசகங்களைக் குறித்துக்கொள்ளவும். சட்டக்

காந்தத்தை காந்தமானியின் மற்றொரு புறத்திலும் இதே தூரத்தில் வைத்து, மேற்கூறியவாறு நான்கு வாசகங்களைக் காணவும். இந்த எட்டு அளவுகளின் பொதுமையை θ என்னும் விலக்கமாகக் கொள்ளவும். காந்தமானியின் மையத்துக்கும், காந்தச்சட்டத்தின் மையத்திற்குமிடைப்பட்ட d என்னும் தூரத்தையும் அளந்துகொள்ளவும். d என்னும் தூரத்தை அவ்வப்போது மாற்றி அவ்வற்றிற்குரிய θ வின் மதிப்பையும் குறித்துக்கொள்ளவும்.

$F = \frac{2\,M'}{d^3}$ ஆகும்.

ஆனல் $F = H \tan\theta$.

எனவே, $\frac{2\,M'}{d^3} = H \tan\theta$ அல்லது

$d^3 \tan\theta = \frac{2\,M'}{d^3}$ என்பது ஒரு மாறிலி. மேலே கண்ட வாசகங்களை (படம் 399 (2))-இல் கண்டவாறு

(1) d	(2) θ	(3) $\tan\theta$	(4) $d^3 \tan\theta$

படம் **399** (2)

அட்டவணைப்படுத்தினல் கடைசிக் கலமாகிய $d^3 \tan\theta$ மாறிலியாய் வரும். எனவே முனைநோக்கு நிலைக்கு நாம் கண்ட விதி சரியானதென்று தெரிகிறது.

இரண்டிடங்களில் பூமியின் காந்தப்புலங்களின் படுகைப் பிரிநிலைகளை ஒப்பிடுதல்.

(1) **சமதூர முறை** :—முதலில் ஓரிடத்தில் காந்தமானியையும் அளவியையும் முன்கூறியவாறு சரிப்படுத்தி வைக்கவும். ஒரு குட்டையான காந்தச்சட்

டத்தை அளவியின்மீது d என்னும் தூரத்தில் வைக்கவும். இதனல் காந்தமானியில் ஏற்படும் θ என்னும் விலக்கத்தை, முன்னே கூறியவாறு எட்டு வாசகங்களின் பொதுமையைக் கண்டு, கணக்கிடவும். இதே காந்தமானியையும் காந்தத்தையும் இரண்டாவது இடத்திற்கும் கொண்டுசென்று, அங்கேயும் காந்தச் சட்டத்தை d என்னும் தூரத்தில் வைத்துப் பொதுமை விலக்கமாகிய θ_2 வைக் கண்டு கணக்கிடவும். மேற்கூறிய இரண்டிடங்களிலும் பூமியின் காந்தப்புலத்தின் படுகைப் பிரிகிலேகள் முறையே H_1, H_2 என்று கொள்வோம். M' என்பது காந்தச்சட்டத்தின் திருப்பியல்

ஆனல் $$\frac{M'}{H_1} = d^3 \tan \theta_1$$

$$\frac{M'}{H_2} = d^3 \tan \theta_2$$

எனவே, $$\frac{H_2}{H_1} = \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2}$$

(2) சமவிலக்க முறை:—ஓரிடத்தில் காந்தமானியைச் சரியானபடி அமைத்து, ஒரு காந்தச்சட்டத்தால் θ (30° என்று கொள்வோம்) என்னும் விலக்கம் உண்டாவதற்கு வேண்டிய பொதுமைத் தூரமாகிய d_1-ஐக் காணவும். இதே காந்தமானியை இரண்டாவது இடத்திலும் அமைத்து அதே காந்தச்சட்டத்தினல் அதே θ என்னும் விலக்கம் உண்டாவதற்கு வேண்டிய பொதுமைத் தூரமாகிய d_2-ஐக் காணவும். இப்போது

$$\frac{M'}{H_1} = \frac{d_1^3}{2} \tan \theta$$

மேலும் $$\frac{M'}{H_2} = \frac{d_2^3}{2} \tan \theta.$$

எனவே $$\frac{H_1}{H_2} = \frac{d_2^3}{d_1^3}$$

இரண்டு காந்தச்சட்டங்களின் காந்தத் திருப்பியல்களை ஒப்பிட :—

I. முனைநோக்கு நிலை :—முன்னே கூறியபடி காந்தமானியை அமைக்கவும். முதலில் ஒரு காந்தச் சட்டத்தை எடுத்துக் கிழக்கு மேற்காக (காந்தவியல்) அதன் முனை காந்தமானியின் மையத்தை நோக்கி இருக்கும்படி d என்ற தூரத்தில் வைக்கவும். (இதில் d என்பது காந்தச்சட்டத்தின் மையத்திற்கும் காந்தமானியின் மையத்துக்கும் இடைப்பட்ட தூரம்).

இதனால் ஏற்படும் பொதுமை விலக்கத்தைக் காணவும். காந்தச்சட்டத்தைக் காந்தமானியின் மறுபுறத்திலும் இதே தூரத்தில் வைத்து, விலக்கத்தைக் காணவும். இவ்விரண்டுக்கும் பொதுமையான θ_1 என்னும் விலக்கத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். மற்றொரு காந்தத்தையும் இதே தூரத்தில் வைத்து, இச்சோதனையைத் திருப்பிச் செய்து, அதனாலேற்படும் பொதுமை விலக்கமாகிய θ_2-ஐக் காணவும் இப்போது,

$$F_1 = \frac{2\,M_1\,d}{(d^2 - l_1^2)^2}\ ; \quad F_2 = \frac{2\,M_2\,d}{(d^2 - l_2^2)}$$

$$\therefore \frac{F_1}{F_2} = \frac{2\,M_1\,d/(d^2 - l_1^2)^2}{2\,M_2\,d/(d^2 - l_2^2)^2}$$

$$= \frac{H\tan\theta_1}{H\tan\theta_2} \text{ அல்லது } \frac{M_1}{M_2} \times \frac{(d^2 - l_2^2)^2}{(d^2 - l_1^2)^2}$$

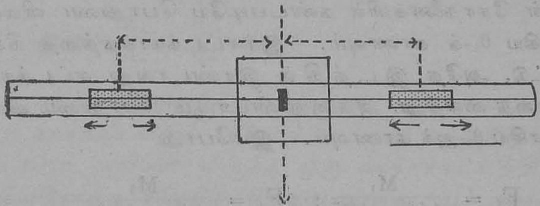
$$= \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}$$

இரண்டு சட்டங்களின் நீளங்களும் சமமானால்

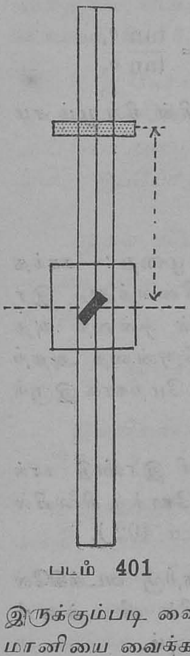
$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}$$

(2) விலக்கமில்லா முறை (null method) :—முன்னே கூறியபடியே காந்தமானியை அமைக்கவும்.

ஒப்பிடவேண்டிய இரு காந்தச்சட்டங்களையும் காந்த மானியின் இருபுறங்களிலும் வைத்து, காந்தமானியில் விலக்கம் சூனியமாகும்படியாக, அக்காந்தச்சட்டங் களின் நிலையைச் சரிப்படுத்தவும். (படம் 400). காந்தச்



படம் 400



படம் 401

சட்டங்களின் மையங்களுக்கும், காந்த மானியின் மையத்துக்குமிடைப்பட்ட d_1, d_2 என்னும் தூரங்களை அளக்கவும். இப்போது காந்தமானியினருகில் இரண்டு காந்தச்சட்டங்களால் ஏற்பட்ட புலங்களும் சமமாய்விட்டன.

அதாவது $F_1 = F_2$;

அதனால் $$\frac{2\,M_1\,d_1}{(d_1^2 - l_1^2)^2} = \frac{2\,M_2\,d_2}{(d_2^2 - l_2^2)^2}$$

அதாவது $$\frac{M_1}{M_2} = \frac{(d_1^2 - l_1^2)^2 d_2}{(d_2^2 - l_2^2)^2 d_1}$$

d_1, d_2-க்களை நோக்க, l_1, l_2-க்கள் மிகச் சிறியவையானால் இவ்வுறவு

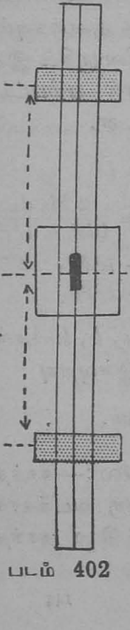
$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}$$ என்றாகும்.

II. புறநோக்கு-நிலை :—காந்தமானியின் அளவி தெற்கு வடக்காக இருக்கும்படி வைக்கவும். அதன் நடுவிலே காந்தமானியை வைக்கவும். (படம் 401).

(1) சமதூரமுறை :—அதிலிருந்து d என்னும் தூரத்தில் சட்டக்காந்தத்தைக் கிழக்கு மேற்காக இருக்கும்படியும், காந்தமானி சட்டக்காந்தத்திற்குப் புறநோக்கு நிலையில் இருக்கும்படியாகவும் வைக்கவும். முன் சோதனைகளில் கண்டபடியே பொதுமை விலக்கமாகிய θ_1-க் காணவும். இச்சட்டக்காந்தத்தை நீக்கிவிட்டு, அதே இடத்தில் இரண்டாவது சட்டக்காந்தத்தை வைத்து, அதனாலுண்டாகும் பொதுமை விலக்கமாகிய θ_2-ஐக் காணவும். இப்போது

$$F_1 = \frac{M_1}{(d_1^2 + l_1^2)^{\frac{3}{2}}} ; \quad F_2 = \frac{M_2}{(d^2 + l_2^2)^{\frac{3}{2}}}$$

ஆகையால் $$\frac{F_1}{F_2} = \frac{M_1/(d^2 + l_1^2)^{\frac{3}{2}}}{M_2/(d^2 + l_2^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2}$$



படம் 402

இரண்டு சட்டங்களின் நீளமும் சமமானால்

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2}$$

(2) விலக்கமில்லா முறை :—காந்தமானியைச் சரிப்படுத்திவைத்து, இரண்டு காந்தச்சட்டங்களில் ஒன்றை அதற்கு வடக்கேயும், மற்றொன்றை அதற்குத் தெற்கேயும் கிழக்கு மேற்காக இருக்கும்படி வைக்கவும்.

இப்போது காந்தமானி இரண்டு காந்தச்சட்டங்களுக்கும் புறநோக்கு நிலையில் இருக்கவேண்டும். (படம் 402).

இச்சட்டங்களைத் தெற்கு வடக்கிலே நகர்த்திக் காந்தமானியில் விலக்கம் சூனியமாகும்படி செய்யவும்.

இப்போது $\frac{M_1}{M_2} = \frac{(d_1^2 + l_1^2)^{\frac{3}{2}}}{(d_2^2 + l_2^2)^{\frac{3}{2}}}$

இரண்டு காந்தச்சட்டங்களின் நீளங்களும் d_1, d_2-க்களை நோக்க மிகச் சிறியவை

ஆனல் $\frac{M_1}{M_2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}$ ஆகும்.

வர்க்க எதிர்விகித விதியைச் சரிபார்த்தல் :— ஒரு காந்தமானியை அமைத்து, அது மற்ருெரு குட்டையான வலிமை மிகுந்த ஒரு காந்தச்சட்டத்திற்கு முனைநோக்கு நிலையில் நிற்கும்படியாக 'd' என்னும் தூரத்தில் வைத்து, அதனல் ஏற்படும் பொதுமை விலக்கமாகிய θ_1-ஐக் கண்டு கணக்கிடவும்.

(l ஐ நோக்க d மிகப் பெரியதாய் இருக்கவேண்டும்). புற நோக்கு நிலையிலும் இதே தூரத்தில் வைத்துப் பொதுமை விலக்கமாகிய θ_2 ஐக் கண்டு கணக்கிடவும். இப்போது

முதல் நிலையில் $\frac{M}{H} = \frac{d^3}{2} \tan\theta_1$. M என்பது குட்டையான வலிமை மிகுந்த காந்தச்சட்டத்தின் திருப்பியல்.

இரண்டாவது நிலையில் $\frac{M}{H} = d^3 \tan\theta_2$.

இவ்விரண்டிலும் d சமமாகையால் $\tan\theta_1 = 2\tan\theta_2$.

இரண்டு காந்தத் துருவங்களுக்கிடைப்பட்ட சக்தி, அவற்றின் இடைப்பட்ட தூரத்தின் வர்க்கத்தோடு எதிர்விகிதமாக மாறுவதாகக் கொண்டு, மேற்கண்ட வாய்பாடுகள் பெறப்பட்டன. இவ்விதியானது n அடுக்க எதிர்விகித விதியாக இருந்திருந்தால்,

$\tan \theta_1 = n \tan \theta_2$ என்று காட்டலாம். எனவே $\frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2}$ என்னும் தகவை மேற்கண்ட பரிசோதனையிலிருந்து கணக்கிட்டு, இவ்வுறவு வர்க்க எதிர்விகித விதியே என்று காஸ் (Gauss) காட்டினர். நாமும் இத்தகவைக் கணக்கிட்டால் அது 2 ஆக வருவதைக் காணலாம்.

ஒரு காந்தப் புலத்தில் தோங்கவிடப்பட்ட காந்தத்தின் ஆட்டம்:—ஒரு சிறு காந்தத்தை மெல்லிய பட்டுநூலினுல் கட்டி, ஒரு படுக்கைப் புலத்திலே தன் வயமாகத் தொங்கவிட்டால், அது புலத்தின் திசையிலே திரும்பி நிற்கும். அக்காந்தத்தின் திருப்பியல் M என்றும், அது தொங்கவிடப்பட்ட புலத்தின் வலிமை H என்றும் கொள்வோம். இப்போது நாம் அக்காந்தத்தைத் திருப்பி, அது புலத்தோடு θ என்ற கோணமுண்டாகும்படி செய்தால், அதன்மீது $M H \sin \theta$ என்னும் இரட்டை தொழிற்படும். இவ்விரட்டை, காந்தத்தை H என்னும் புலத்தின் திசையிலே மறுபடியும் திருப்ப முயலும். காந்தத்தை விட்டுவிட்டால் அது ஆட ஆரம்பிக்கும். ஆட்டத்தின் வீச்சு குறைவாயிருந்தால் $\sin \theta = \theta$ என்றும், அதனுல் காந்தத்தின் மீது தொழிற்படும் இரட்டை $M H \theta$ என்றும் கொள்ளலாம். எனவே தொங்கவிடப்பட்ட நூலைச்சுற்றி காந்தத்தின் 'ஜடத்திறன்' (moment of inertia) I ஆனுல், அதனுடைய ஆட்டத்தின் பொழுதைக் கீழ்க்கண்டவாறு கூறலாம்.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MH}}$$

ஒரு நாலம் நிமிர்வைத்தளத்திலே ஆடுவதைப் போலவே இக்காந்தமும் படுக்கைத் தளத்திலே ஆடுகிறது. இவ்விரண்டு ஆட்டங்களின் பொழுதுகளும்

அவற்றின் வீச்சுகளைச் சார்ந்தனவல்ல. ஆனால் இவ் வீச்சுகள் மிகச் சிறியனவாய் இருத்தல் வேண்டும். மேலே கண்ட உறவில் இருபுறங்களையும் வர்க்கிக்க $T^2 = \frac{4\pi^2 I}{MH}$ என்றாகும்.

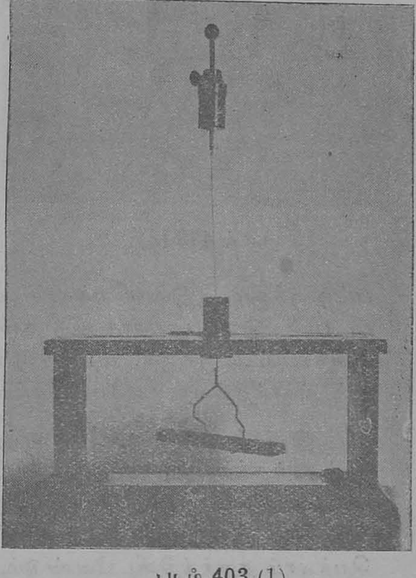
இதை n என்னும் அடுக்கத்தை (Frequency) க்கொண்டு மிக எளிதாக உரைக்கலாம். 'அடுக்கம்' என்பது ஒரு செகண்டிலே நிகழும் ஆட்டங்களின் எண்ணிக்கை என்று நாமறிவோம். T என்பது 'பொழுது' ஆனால் $n = \frac{1}{T}$ என்று கூறலாம்.

ஆகையால் $n^2 = \frac{MH}{4\pi^2 I}$

இதில் M, I என்பன ஒரே காந்தத்தைப் பொறுத்தவரையில் மாறிலிகளாதலால், $n^2 = kH$ என்று கூறலாம்.

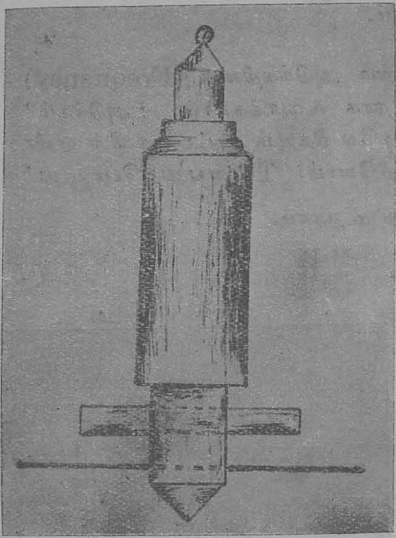
இதனால் ஒரு காந்தப்புலத்தில் ஒரு சிறு காந்தம் ஆடிக்கொண்டிருந்தால் அப்புலத்தின் படுக்கைப் பிரிநிலை ஆட்டத்தினது வர்க்கத்திற்கு ஏற்பவுள்ளது என்று தெரிகிறது.

துடிப்புக் காந்தமானி :-(Vibration magneto-meter).



படம் 403 (1)

(படம் 403 (1)). படத்திலுள்ளது துடிப்புப்பெட்டி எனப்படும். இதனால் பல காந்தங்களின் துடிப்புகளை ஆராயலாம். ஸார்ல் (Searle) என்பார் இயற்றிய ஒருவகைக் கருவியில் (படம் 403(2)) உருளை வடிவான ஒரு சிறு காந்தம், ஒரு பித்தளைக் குண்டில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இதனால் காந்தத்தின் ஜடத்திறன் மிகுந்து துடிப்பின் பொழுதும் அதிகமாவதால் இதை அளப்பது எளிதாகும். இன்னும் எளிதாகத் துடிப்பைக் கண்டு அளப்பதற்காகக் காந்தத்தினடியில் ஒரு அலுமினிய



படம் 403 (2)

சூசிகை பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இவையெல்லாம் காற்றினால் அலைக்கப்படாமல் இருப்பதற்காக ஒரு கண்ணாடிக் கூண்டினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கும். மற்றொரு கருவியில் சாதாரணச் சட்டக்காந்தத்தை உபயோகிக்கப்படும்.

இதைக் கையாளும்போது அண்டையிலுள்ள எல்லாக் காந்தங்களும், காந்தம் கவர் பொருள்களும் நீக்கப்படவேண்டும். முன்னால் விவரித்த கருவியை உபயோகித்தால், தொங்கும் பட்டு நூலில் உள்ள முறுக்கையெல்லாம் தளர்த்திவிடவேண்டும். இதற்காக முதலில்

காந்தத்தை வைக்கவேண்டிய இடத்தில் ஒரு சிறிய பித்தளைத் துண்டை வைக்கவும். அது தானே சுழன்று முறுக்கையெல்லாம் தளர்த்திவிடும். பிறகு அதை எடுத்துவிட்டுக் காந்தத்தை வைக்கவேண்டும். பரிசோதனையை ஆரம்பிப்பதற்கு முன்னால், ஊசியின் முன் புறத்தில் ஒரு கோட்டைப் புலத்தின் திசையில் சாக்கட்டியால் இழுக்கவும். காந்தச்சட்டம் இக் கோட்டைத் தாண்டும்போது துடிப்புகளை எண்ண வேண்டும். துடிப்பைத் துவக்குவதற்காக ஒரு சிறு காந்தச்சட்டத்தின் ஒரு முனையை, தொங்கவிடப்பட்ட காந்தத்தினருகில் கொண்டுவந்து, பிறகு அதை நீக்கி விடவும். ஆட்டத்தின் வீச்சு மிகச் சிறியதாய் இருக்கும்போதுதான் பொழுதை அளக்கவேண்டும்.

பூமியின் படுக்கைப் புலத்தை இரண்டிடங்களில் ஒப்பிடுதல்:—முதலில் ஓரிடத்தில் காந்த மானியின் அடுக்கத்தைக் காணவும். பிறகு அதே காந்தமானியை இரண்டாவது இடத்துக்கு எடுத்துச் சென்று, அவ்விடத்திலும் அதன் அடுக்கத்தைக் காணவும். இவ்வடுக்கங்கள் முறையே n_1, n_2 என்றும், அவ்விரண்டிடங்களிலும் பூமியின் படுக்கைப் புலங்கள் முறையே H_1, H_2 என்றும் கொண்டால்,

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2} \text{ ஆகும்.}$$

வர்க்க எதிர்விகித விதியைச் சரிபார்த்தல்:—முதலில் பூமியின் காந்தப் புலத்திலே காந்தமானியின் அடுக்கத்தைக் காணவும். அது n_0 என்று கொள்வோம். பிறகு முன்னே குறிப்பிட்டது போன்ற இரு முனைகளிலும் குண்டுகளைக் கொண்ட (Robinson Magnet) ஒரு நீண்ட காந்தச்சட்டத்தை எடுத்து, அதைச் செங்குத்தாக ஒரு மரத்தாங்குகாலில் பிடித்து

வைக்கவும். இதன் கீழ்த்துருவம் வடதுருவம் என்று கொள்வோம். இத்துருவம் காந்தமாணியில் உள்ள காந்த ஊசிக்குச் சமமான உயரத்திலே, அதற்குத் தெற்கு (காந்தவியல்)த்திசையில் இருக்கவேண்டும். இப்போது காந்த ஊசியை ஆடவிட்டு அதன் அடுக்கத்தைக் காணவும். இது n_1 என்று கொள்வோம். காந்த ஊசியின் மையத்திற்கும், குண்டுமுனைக் காந்தத்தின் கீழ்த்துருவத்திற்கும் இடைப்பட்ட 'd_1' என்னும் தூரத்தை அளக்கவும். இதைப்போலவே இத்தூரத்தை d_2, d_3......என்று மாற்றி, அவ்வவற்றிற்குரிய அடுக்கங்களாகிய n_2, n_3......களைக் காணவும். இப்போது காந்த ஊசியினருகே ஏற்படும் புலங்கள் முறையே, F_1, F_2, F_3... என்று கொள்வோம். H என்பது பூமியின் படுக்கைப்புலம் என்றும் கொள்வோம். அப்படியானால்

$$H = k\,n_0^2$$
$$F_1 + H = kn_1^2$$
$$F_2 + H = kn_2^2$$
$$F_3 + H = kn_3^2$$ என்றாகும்.

ஆகவே

$$F_1 = k\,(n_1^2 - n_0^2)\,;\; F_2 = k\,(n_2^2 - n^2_0)$$
$$F_3 = d\,(n^2_3 - n_0^2).$$

வர்க்க எதிர்விகித விதிப்படி

$$F_1 = \frac{m}{d_1^2} \cdots\cdots$$ முதலியன.

இதில் m என்பது துருவ வலிமை. இது பரிசோதனை முழுவதிலும் மாறாமலே நிற்கும். எனவே

$$m = kd_1^2\,(n_1^2 - n_0^2) = kd^2_2\,(n^2_2 - n_0^2)$$
$$= kd_3^2\,(n_3^2 - n_0^2)\cdots\cdots\cdots$$

அல்லது $d_1^2\,(n_1^2 - n_0^2) = d_2^2\,(n_2^2 - n_0^2)\cdots\cdots\cdots$

மேலே கண்ட உறவு உண்மை யென்று பரிசோதனையால் காட்டினுல் அது வர்க்க எதிர்விகித விதியை நிருபிப்பதாகும். இப்பரிசோதனை முழுவதிலும் காந்தத்தின் மேல்துருவத்தின் ஆக்கம் மிக அற்பமானது என்று நாம் கொண்டிருக்கிறோம். மேலே கண்டவற்றிலிருந்து காந்தத்தின் துருவ வலிமையைக் கணக்கிடும் முறை வருமாறு :

$d^2 (n^2 - n_0^2)$ என்னும் இராசியின் பொதுமை மதிப்பைக் கண்டுபிடிக்கவும். இதை $\frac{H}{n_0^2}$ ஆல் பெருக்க $kd^2 (n^2 - n_0^2)$ வரும். இதுவே துருவவலிமையாகிய m ஆகும்.

ஒரு காந்தச் சட்டத்தால் ஏற்படும் புலத்தை ஓரிடத்தில் அளத்தல் :—முனை நோக்கு நிலை, புற நோக்கு நிலை ஆகிய இரண்டு நிலைகளிலும், புலத்தின் வலிமை தூரத்தின் மும்மைக்கு (Third Power) எதிர் விகிதமானது என்பதை இத்துடிப்பு முறையால் காட்டலாம். பூமியின் புலத்திலே ஏற்படும் n_0 என்னும் அடுக்கத்தை முன்பு கூறியபடி காணவும். சட்டக்காந்தத்தை, அதனுல் காந்தமானிக்கு அருகில் ஏற்படும் புலம், பூமியின் புலத்திசையிலேயே இருக்கும் படி, மேற்கூறிய இரண்டு நிலைகளில் ஏதாவதொன்றில் வைக்கவும். காந்த ஊசியும் சட்டக்காந்தத்தின் துருவமும் ஒரே மட்டத்தில் இருக்கவேண்டும். ஊசியின் மையத்திற்கும் காந்தச் சட்டத்தின் மையத்திற்கும் இடைப்பட்ட d_1 என்னும் தூரத்தை அளக்கவும். ஊசியை ஆடவிட்டு அதன் அடுக்கம் n_1 ஐக் காணவும். இப்படியே தூரத்தை d_2, d_3, d_4.........என்று மாற்றி, அவ்வப்போதும் n_2, n_3, n_4......என்னும் அடுக்கங்களைக் காணவும். பூமியின் படுக்கைப் புலம் H எனவும், d_1, d_2, d_3 என்னும் தூரங்களில் சட்டக்காந்தத்தின்

புலங்கள் முறையே F_1, F_2, F_3 என்றும் கொள்வோம். முன்போலவே $F_1 = k(n_1^2 - n_0^2)$...

$\therefore F_1 : F_2 : F_3 \ldots : :$

$(n_1^2 - n_0^2) : (n_2^2 - n_0^2) : (n_3^2 - n_0^2) \ldots\ldots$ காந்த ஊசியின் நீளம் d ஐ நோக்க மிகச்சிறியதானால்,

$F_1 = \dfrac{c}{d_1^3}$ என்று காட்டலாம். c என்பது ஓர் மாறிலி. இதனால் மேலும்

$(n_1^2 - n_0^2)\, d_1^3 = (n_2^2 - n_0^2) d_2^3 \ldots\ldots$ என்றும் காட்டலாம்.

இரண்டு குட்டையான காந்தங்களின் திருப்பியல்களை ஒப்பிடுதல் :—(1) காந்தமானியின் அடுக்கத்தைப் பூமியின் படுக்கைப் புலத்தில் மட்டும் காணவும். அது n_0 என்று கொள்வோம். ஒரு காந்தச்சட்டத்தை, முனை நோக்காக காந்தமானியின் மையத்தோடு சம மட்டத்தில் வைக்கவும். காந்தமானிக்கருகில் பூமியின் படுக்கைப் புலமும் சட்டக்காந்தத்தின் புலமும் ஒரே திசையில் இருக்கவேண்டும். காந்தச் சட்டத்தின் மையத்திற்கும் காந்தமானியின் மையத்திற்கும் இடைப்பட்ட d என்னும் தூரத்தை அளக்கவும். இப்போது காந்தமானியின் அடுக்கமாகிய n_1-ஐக் காணவும். முதல் காந்தச்சட்டத்தை நீக்கிவிட்டு, அதே இடத்தில் இரண்டாவது சட்டத்தை வைத்து, மறுபடியும் காந்தமானியின் இப்போதைய அடுக்கமாகிய n_2 ஐக் காணவும். இதிலெல்லாம் d என்னும் தூரம் காந்தச்சட்டங்களை நோக்க மிகப் பெரியதாய் இருத்தல் வேண்டும். நிற்க,

$$H = K n_0^2$$

$$F_1 + H = K\, n_1^2$$

$$F_2 + H = K\, n_2^2$$

இதில் F_1, F_2 என்பன முறையே முதல் இரண்டாவது காந்தச் சட்டங்களால் காந்தமானிக்கருகில் ஏற்பட்ட புலங்களாகும்.

ஆகவே

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{(n_1^2 - n_0^2)}{(n_2^2 - n_0^2)}$$

ஆனால் $\frac{F_1}{F_2} = \frac{2\ M_1}{d^3} \Big/ \frac{2\ M_2}{d_3} = \frac{M_1}{M_2}$

ஆகையால் $\frac{M_1}{M_2} = \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_2^2 - n_0^2}$

இவ்விரண்டு காந்தங்களின் திருப்பியல்களையும் அவைகளைக் காந்தமானியினுள் வைத்தே ஒப்பிட்டுவிடலாம். அந்த முறை வருமாறு:

(2) காந்தமானியில் உள்ள காந்தத்தை நீக்கிவிட்டு, முன்னே கூறியவாறு தொங்கவிடப்பட்ட முறுக்குகளை நெகிழ்த்திவிடவும். பிறகு நாம் ஒப்பிடவேண்டிய காந்தங்களில் ஒன்றைக் காந்தமானியில் வைத்து அதைப் பூமியின் புலத்தில் ஆடவிட்டு, 20 ஆட்டங்களுக்கு வேண்டிய காலத்தை இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தால் நிர்ணயிக்கவும். இதனால் அதன் பொழுதாகிய T_1 ஐக் கணக்கிடவும். இப்போது முதல் காந்தத்தை நீக்கிவிட்டு, அதே இடத்தில் இரண்டாவது காந்தத்தை வைத்து, முன்னால் கூறியபடியே அதன் பொழுதாகிய T_2 ஐக் கணக்கிடவும். நிற்க,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_1}{M_1 H}}\ ;\quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I_2}{M_2 H}}$$

வர்க்கித்து வகுக்க,

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{I_1}{I_2} \times \frac{M_2}{M_1} \text{ or } \frac{M_2}{M_1} = \frac{I_2}{I_1} \times \frac{T_1^2}{T_2^2}$$

இதிலே I_1, I_2 என்னும் இராசிகள் ஈடுபட்டிருப்பதால், இந்த முறை அவ்வளவு எளிதானது அல்ல. இத்தொல்லையை நீக்குவதற்காக மற்றொரு முறை மேற்கொள்ளப்படும். முதலில், இவ்விரண்டு காந்தச்சட்டங்களும் ஒத்த முனைகள் ஒரு திசையை நோக்கும்படியும், அவற்றின் மையங்கள் ஒன்றுபடும்படியும் கட்டப்பட்டு, துடிப்புப் பெட்டியினுள் தொங்கவிடப்படும். பின்னர் பூமியின் படுக்கைப் புலத்திலே அவ்விணைப்பின் பொழுது காணப்படும். இப்போது ஒவ்வாத முனைகள் ஒரே திசையை நோக்கும்படி இரு சட்டங்களையும் இணைத்து, மறுபடியும் இந்த இணைப்பின் பொழுது காணப்படும். இவ்விரண்டு பொழுதுகளும் முறையே T_1, T_2 என்று கொள்வோம். I என்பது இந்த இணைவின் ஜடத்திறன் என்று கொள்வோம். முதலில் இவ்விணைவின் காந்தத்திருப்பியல் M_1+M_2 ஆகும். இரண்டாவது சோதனையில் அது $M_1 - M_2$ ஆகும். எனவே

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{(M_1+M_2)H}}\ ;\ T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{(M_1-M_2)H}}$$

வர்க்கித்து வகுக்க.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2} \text{ அல்லது } \frac{T_1^2 + T_2^2}{T_1^2 - T_2^2}$$

$$= \frac{(M_1+M_2)+(M_1-M_2)}{(M_1+M_2)-(M_1-M_2)} = \frac{M_1}{M_2}$$

ஆகையால் $\frac{T_1^2 + T_2^2}{T_1^2 - T_2^2} = \frac{M_1}{M_2}$ என்னும் உறவினால் இரண்டு காந்தங்களின் திருப்பியல்களும் ஒப்பிடப்படும்.

உதாரணம் 1. 10 செ. மீ. நீளமுள்ளதொரு காந்தச் சட்டத்தின் புலத்திலே, அதன் இருசினது நீட்சி

யின் மேல் ஒரு அலி நிலை நிற்கிறது. அதற்கும் அதற்கருகேயுள்ள காந்த துருவத்திற்கு மிடைத்தூரம் 10 செ. மீ. H = 0·38. இதைக்கொண்டு அக்காந்தச் சட்டத்தின் துருவ வலிமை காண்க.

காந்தத்தின் துருவ வலிமை m என்றும், அதன் நீளம் $2l$ என்றும், அதன் மையத்திற்கும் இருசின் நீட்சி மீதுள்ள ஒரு அலிப் புள்ளிக்கு மிடைத்தூரம் d என்றும் கொண்டால்; அப்புள்ளியிலே இக்காந்தத்தால் ஏற்பட்ட புலத்தின் வலிமை

$$F = \frac{4\,dlm}{(d^2 - l^2)^2}$$

அலிநிலையிலே F = H

நிற்க, கணக்கின்படி H = 0·38

l = 5 செ. மீ.

d = 15 செ. மீ.

இவற்றை மேற்கண்ட உறவுகளில் ஈடிடவே

$$0{\cdot}38 = \frac{4 \times 15 \times 5 \times m}{(15^2 - 5^2)^2}$$

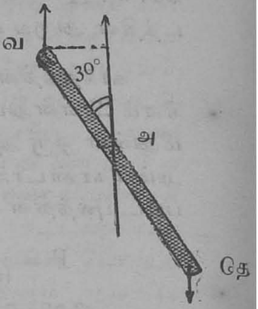
$$\text{அல்லது} \quad = \frac{3\,m}{400}$$

$$m = 50{\cdot}67$$

காந்தத்தின் துருவ வலிமை **50·67** அலகுகளாகும்

உதாரணம் 2. 0 38 வலிமைகொண்டதொரு காந்தப் புலத்திலே அப்புலத்தோடு 30° கோணம் கொள்ளும்படியாக, 20 செ. மீ. நீளம் கொண்டதொரு மெல்லிய காந்தச் சட்டம் வைக்கப்பட்டது. இக் காந்தத்தின் துருவ வலிமை 50 ஆனால் இதன்மீது தொழிற்படும் இரட்டையைக் கணிக்கவும்.

படத்தைப் பார்க்கவும். (படம் 404). வடதுருவத்தின்மீது தொழிற்படும் சக்தி 50 × ·38. இதுவே தென் துருவத்தின்மீது எதிர்த் திசையில் தொழிற்படுகிறது.



படம் 404

இந்த இரட்டை இணைச்சக்திகளினிடைத்தூரம்

$= 2 \times$ அவ $\times \sin 30.$

$= 2 \times 10 \times 0{\cdot}5.$

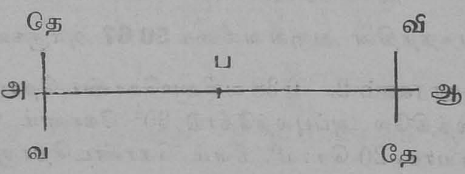
எனவே காந்தத்தின் மீதேற்படும் இரட்டை

$50 \times {\cdot}38 \times 2 \times 10 \times 0{\cdot}5 = 190$

செ. கி. செ. அலகுகள்.

உதாரணம் 3. ·3 செ. மீட்டர் நீளங்கொண்ட இரண்டு காந்தங்கள் பரஸ்பரம் இணையாக 60 செ. மீ. விலக்கி வைக்கப்பட்டன. அவற்றின் துருவங்கள் மாறி நின்றன. அவற்றின் மையங்களைச் சேர்க்கும் கோட்டிற்கு அவை செங்குறுக்காக நின்றன. இவற்றின் துருவவலிமைகள் முறையே 15,20 என்று கொண்டு, அவையிரண்டுக்கும் மையமானதொரு புள்ளியிலேற்படும் காந்தப் புலத்தைக் காண்க.

படத்தைப் பார்க்கவும். (படம் 405).



படம் 405

இத்தகைய புறநோக்கு நிலையில் நிற்கு மோரிடத்திலே காந்தப்புலத்தின் வலிமை

$$F = \frac{2\,m\,l}{(l^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}}$$

நமது கணக்கின்படி d-யை நோக்க l மிகச் சிறிய தாகையால் அதைப் புறக்கணித்துவிடலாம். பின்னர்

$$F = \frac{2\,m\,l}{d^3} \text{ ஆகும்.}$$

வ தே என்ற முதல் காந்தத்தால், ப என்ற மத்தியப் புள்ளியிலேற்படும் புலவலிமை

$$F = \frac{2 \times 15 \times \frac{3}{2}}{30^3} = \frac{1}{600} \text{ இது மேனேக்கி நிற்கும்.}$$

வி தே என்ற இரண்டாவது காந்தத்தால்ப-விலேற்படும் புலவலிமை.

$$F_2 = \frac{2 \cdot 20. \frac{3}{2}}{30^3} = \frac{1}{450} \text{ இது கீழ் நோக்கி நிற்கும்.}$$

ஆகையால் ப-வி லேற்படும் பயனிலேப்புலம்.

$$F = \left(\frac{1}{450} - \frac{1}{600}\right) = \frac{1}{1800}$$

இது கீழ் நோக்கித் தொழிற்படும்.

எனவே ப என்ற புள்ளியிலேற்படும் காந்தப் புலத்தின் வலிமை $\frac{1}{1800}$ டைன். இது கீழ் நோக்கி அதாவது வி தே என்ற வலிமை வாய்ந்த காந்தத்திற்கு இணையாகத் தொழிற்படுகிறது.

(4) ஓரிடத்திலே பூமியின் படுக்கைப் புலம் ·18. இங்கே படுக்கைவாக்கிலே நாலவிட்டதொரு காந்த ஊசி நிமிஷத்திற்கு 12 ஆட்டங்கள் ஆடுகிறது. படுக்கைப் புலம் ·36 உள்ளதொரு இடத்திலே இவ்வூசி நிமிஷத்திலே எத்தனை ஆட்டங்கள் ஆடும்.

ஆடும் ஊசியின் அடுக்கம், அதைக் கட்டுப்படுத்தும் புலத்தின் வர்க்க மூலத்திற்கு ஏற்ப இருக்கும்.

அதாவது அடுக்கம் n என்றும் புலம் H என்றும் கொண்டால்,

$$n \propto \sqrt{H}$$

அல்லது $\frac{n_1^2}{n_2^2} = \frac{H_1}{H_2}$

கணக்கிலே கண்ட இராசிகளை ஈடிடவே

$$\frac{12^2}{n_2^2} = \frac{\cdot 18}{\cdot 36} = \frac{1}{2}$$

$$n_2^2 = 2 \times 12^2 = 288$$

$n_2 = 16{\cdot}97$ ஆகும்

எனவே ·36 படுக்கைப் புலம் கொண்ட இடத்திலே இவ்வூசி நிமிஷத்திற்கு 17 ஆட்டங்கள் ஆடுமென்று கூறலாம்.

உதாரணம் 5. படுக்கைவாக்கிலே நாலவிட்டதொரு காந்தஊசி, பூமியின் புலத்திலே நிமிஷத்திற்கு 10 ஆட்டங்கள் ஆடுகிறது. இதனருகே ஒரு காந்தச் சட்டத்தைக் கொண்டுவந்தபோது, ஊசியின் திசை மாறவில்லை. ஆனால் இப்போது அது நிமிஷத்திற்கு 14 ஆட்டங்கள் ஆடுகிறது. இக்காந்தத்தின் துருவங்களை மாற்றி பிடித்தால் ஊசியின் அடுக்கம் யாதாகும்?

பூமியின் புலம் H என்றும், காந்தத்தின் புலம் F என்றும் கொள்வோம். 10 ஆட்டங்கள் ஆடியபோது அதன்மீது தொழிற்பட்ட புலம் H. 14 ஆட்டங்கள் ஆடியபோது அதன்மீது தொழிற்பட்ட புலம் H + F. காந்தத்தைத் திருப்பிப் பிடித்தால், அதன்மீது தொழிற்படும் புலம் H − F. வாய்பாட்டின்படி

$$\frac{10^2}{14^2} = \frac{H}{(H + F)}$$

காந்தத்தை மாற்றிப் பிடிக்கும்போது அது நிமிஷத்திற்கு n ஆட்டங்கள் ஆடுவதாகக் கொண்டால்,

$$\frac{10^2}{n^2} = \frac{H}{H - F}$$

இவற்றையே

$10^2 (H + F) = 14^2 H$;

$10^2 (H - F) = n^2 H$ என்று எழுதலாம்.

இவையிரண்டையும் கூட்ட

$2 \times 10^2 \times H = (14^2 + n^2) H$.

அல்லது $n^2 = 4$.

அல்லது $n = 2$.

எனவே காந்தத்தைத் திருப்பிப் பிடித்தால் காந்த ஊசி நிமிஷத்திற்கு 2 ஆட்டங்கள் ஆடும்.

வினாக்கள்

1. 'ஒரு காந்தத்தின் திருப்பியல்' என்பதற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு சிறிய திசைகாட்டியைக்கொண்டு, எவ்வாறு இரண்டு காந்தச் சட்டங்களின் திருப்பியல்களை ஒப்பிடலாம் என்று கூறுக.

(சென்னை, அக். 1920)

2. ஒரு காந்தத்தின் துருவங்கள் 10 செ. மீ. விலகி இருக்கின்றன. ஒரு துருவத்தினின்று 8 செ. மீட்டரும், மற்றொரு துருவத்தினின்று 6 செ. மீட்டரும் விலகியுள்ள ஒரு இடத்திலே புலவலிமை காண்க.

3. பூமியினது காந்தப் புலத்தின் படுக்கைப் பிரிநிலை என்றால் என்ன கருத்து வெளிப்படுகிறது?

20 செ. மீ. நீளமுள்ளதொரு காந்தச் சட்டம், அதன் வடதுருவம் வடக்கு நோக்கி இருக்கும்படியாகக் காந்தத் துருவகத்திலே வைக்கப்பட்டது. இக்காந்தத்தின் இருசின்மீது, அதன் மையத்திலிருந்து 30 செ.மீ. தூரத்தில் உள்ளதொரு புள்ளியிலே, இக்காந்தத்தின் புலத்தையும், பூமியின் படுக்கைப் புலத்தையும் எவ்வாறு ஒப்பிடலாமென்பதை விவரித்துக் கூறுக.

(சென்னை, செப். 1924)

4. 'காந்தப் புலம்', 'காந்தப்புலத்தின் வலிமை', 'சக்தி வரைகள்' என்னும் பதங்களுக்கு வரை விலக்கணம் கூறுக.

ஒரு சட்டக் காந்தத்தை (1) அதன் வடதுருவம் வடக்கை நோக்கும்படியாகவும் (2) அதன் வடதுருவம் தெற்கை நோக்கும்படியாகவும், காந்தத் துருவகத்திலே வைக்கப்படும்போது அதனருகே ஏற்படும் காந்தப்

புலங்களைப் படங்கள் வரைந்து காட்டுக. எப்போது அலிநிலைகள் காந்தத்தின் இருசின்மீது நிற்கும்.

(சென்னை, மார்ச். 1920)

5. ஒரு குறுகிய சட்டக் காந்தத்தையும், ஒரு திசைகாட்டியையும் கொண்டு, இரண்டிடங்களிலே யுள்ள பூமியின் காந்தப் படுக்கைப் பிரிநிலைகளை எவ்வாறு ஒப்பிடலாமென்று எடுத்துக் கூறுக. இதன் செயல் முறையை விளக்குக.

(சென்னை, செப். 1922)

6. 'காந்த அலகுத் துருவம்' என்பதற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக. எவ்வாறு ஒரு சாமானிய திசைகாட்டியைக்கொண்டு பல வேறு காந்தச் சட்டங்களின் வலிமைகளை ஒப்பிடலாம்?

(சென்னை, மார்ச். 1922)

7. இரண்டு காந்தங்களின் திருப்பியல்களை ஒப்பிடக்கூடியதொரு முறையை விவரித்துரைக்கவும்.

துருவ வலிமை 25-ம் திருப்பியல் 250-ம் கொண்டதொரு காந்தச் சட்டம், அதன் வடதுருவம் வடக்கு நோக்கும்படியாகக் காந்தத் துருவகத்திலே வைக்கப் பட்டது. இதன் இரண்டு துருவங்களுக்கும் 10 செ. மீ. தூரத்தில் விலகி நின்றதொரு புள்ளியிலே வைக்கப் பட்டதொரு சிறு திசைகாட்டி எத்திசையும் காட்டாமல் சுழன்றது. பூமியின் படுக்கைப் பிரிநிலையைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை, மார்ச். 1925)

8. 'காந்த-சக்தி வரை' என்பதற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு காந்தத்தின் துருவங்களின் இடைத்தூரம் 10 செ. மீ. ஒரு துருவத்திலிருந்து 8 செ. மீட்டரும், மற்

றொன்றிலிருந்து 6 செ. மீட்டரும் விலகி நின்றதொரு புள்ளியிலே காந்தவரையின் போக்கைக் காண்க.

(சென்னை, மார்ச், 1923)

9. 'அலகுத் துருவம்', 'ஓரிடத்தின் காந்தப் புலவலிமை' என்பவற்றுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு காந்தத்தின் துருவ வலிமை 100. அத்துருவங்கள் 15 செ. மீ. விலகி நிற்கின்றன. இக் காந்தத்தைக் காந்தத் துருவகத்திலே அதன் வடதுருவம் தெற்கை நோக்கும்படியாக வைத்தபோது அலிநிலைகளைக் காண்க. H = 0·18 டைன்.

(சென்னை, செப். 1926)

10. 'காந்தப் புலவலிமை,' 'காந்த சக்திவரை' என்பவற்றுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

காந்தத்தின் திருப்பியல் 400 செ. கி. செ. அலகுகள். 0·32 செ. கி. செ. அலகு கொண்ட சீரான புலத்திலே நிற்கும்போது, இதன்மீது தொழிற்படும் சக்தி 5·12 டைன். துருவங்களினிடைத் தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை, செப். 1927)

11. 'காந்தஇருசு', 'புலவலிமை', 'அலிநிலைகள்' என்னும் பதங்களுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு காந்தச் சட்டத்தை (a) காந்தத் துருவகத்தில் அதன் வடதுருவம் தெற்கு நோக்குமாறும் (b) காந்தத் துருவகத்திற்குச் செங்குறுக்காகவும் வைத்தபோது அலிநிலைகள் எங்கே தோன்றுமென்று காட்டப் படங்கள் வரைக.

இப்போது காந்தச்சட்டத்தின் காந்தவியல்பு அதிகரித்தால் அலிநிலைகள் என்னாகுமென்பதையும் விளக்குக.

(சென்னை, மார்ச். 1929)

12. 'அலகுத் துருவம்', 'காந்தத் திருப்பியல்', 'அலிநிலை', இப்பதங்களுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு குறுகிய காந்தத்தின் இருசினது நீட்சிமீது நிற்கும் ஒரு புள்ளியிலேயுள்ள புலவலிமையைக் காண்பதற்கான வாய்பாட்டைக் காண்க.

ஒரு சிறு திசைகாட்டிக்கு மேற்கே 50 செ. மீ. தூரத்தில் வைக்கப்பட்டதொரு சிறு காந்தச்சட்டம் 45° விலக்க மூண்டாக்குகிறது. அச்சட்டத்தின் காந்தத்திருப்பியலைக் கணக்கிடுக.

(H = 0·38 செ. கி. செ. அலகுகள்)

(சென்னை, மார்ச். 1933)

13. காந்தவியலிலே காணும் 'வர்க்க எதிர்விகித' விதியை எடுத்துக்கூறி, அதை ஒரு காந்தமானியைக் கொண்டு எவ்வாறு சரிபார்க்கலாமென்பதைத் தக்க வாசகங்களோடு விளக்குக.

1000 திருப்பியல் கொண்டதொரு காந்தச்சட்டம், 0·18 காஸ் வலிமைகொண்ட புலத்திலே கிடக்கிறது. இந்தப் புலத்தோடு 30° கோணங்கொண்டு இக்காந்தம் நிற்கவேண்டுமானால் அதன்மீது எத்தகைய இரட்டை தொழிற்படவேண்டியிருக்கும்?

(ரங்கூன், 1932)

14. 20 செ. மீ. நீளம் கொண்டதொரு மெல்லிய காந்தம், ·38 வலிமை கொண்டதொரு புலத்தினிலே, அதனோடு 60° கோணங்கொள்ளுமாறு வைக்கப்பட்டது. இந்த காந்தத்தின் துருவவலிமை 50 அலகுகள் ஆனால் அதன்மீது தொழிற்படும் சக்தி இரட்டையைக் கணிக்க.

15. 20 செ. மீ. நீளமுள்ளதொரு காந்தச்சட்டம் அதன் வடதுருவம் தெற்கு நோக்கி நிற்குமாறு

காந்தத்துருவகத்திலே வைக்கப்பட்டது. பூமியினது படுக்கைப் புலம் ·38 செ.கி.செ. அலகுகள். இக்காந்தத்தின் தென் துருவத்தினின்றும் 20 செ. மீ. விலகியுள்ளதொரு புள்ளியிலே புலம் சூனியமாகும். இந்தக் காந்தத்தின் துருவ வலிமை காண்க.

16. ஒரு காந்தத்தின் திருப்பியல் 1000. அதன் துருவவலிமை 50. இதன் இருசின் நீட்சியின்மீது வடதுருவத்திலிருந்து 15 செ. மீ. தூரத்திலே இருக்குமொரு புள்ளியிலே வைக்கப்பட்ட ஒரு வடதுருவத்தின் மீது தொழிற்படும் சத்தியைக் காண்க. இவ்வட துருவத்தின் வலிமை 5 அலகுகள்.

17. ஒரு காந்தத்தின் துருவங்கள் 8 செ. மீ. விலகி இருக்கின்றன. அவற்றின் வலிமை 50. இவற்றினின்று முறையே 6 செ. மீ., 10 செ. மீ. விலகியுள்ளதொரு புள்ளியிலே புலவலிமையை வடிவியல் முறையிலே காண்க.

18. ஒரு காந்தத்தின் துருவ வலிமை 25. அதன் திருப்பியல் 250. இதன் வடதுருவம் வடக்கு நோக்கி நிற்கும்படியாக இது காந்தத் துருவகத்தில் வைக்கப்பட்டது. இதன் இரண்டு துருவங்கள் ஒவ்வொன்றினின்றும் 10 செ. மீ. விலகியுள்ளதொரு புள்ளியிலே வைக்கப்பட்டதொரு சிறு திசைகாட்டி ஒரு திசையிலும் நில்லாமல் சுழலுகிறது. அந்த இடத்திலே பூமியின் படுக்கைப் புலம் காண்க.

19. ஒரு மரப்பலகைமீது துருவவலிமை 50-ம், திருப்பியல் 500-ம் கொண்டதொரு காந்தச்சட்டம், அதன் வடதுருவம் தெற்கு நோக்கி இருக்கும்படியாகக் காந்தத்துருவகத்தில் வைக்கப்பட்டது. இந்தக் காந்தத்தின் நடு மையத்தினின்றும் 15 செ. மீ. விலகி அதன்

இருசுமீது நிற்குமொரு புள்ளியிலே புலவலிமை காண்க.

பூமியின் படுக்கைப்புலம் ·38 அலகுகள்.

20. காந்தத்துருவகத்திற்குச் செங்குறுக்கான தொரு கோட்டின் மேலே இரண்டு குட்டையான காந்தச் சட்டங்கள் வைக்கப்பட்டன. இவற்றின் இடையே ஒரு திசைகாட்டி நின்றது. கிழக்கே இருக்கும் காந்தச்சட்டத்தின் வடதுருவமும், மேற்கே இருக்கும் காந்தச்சட்டத்தின் தென் துருவமும், திசைகாட்டியை நோக்கி நிற்கின்றன. இச்சட்டங்களின் திருப்பியல்கள் முறையே 635-ம், 715-ம் ஆகும். இவை ஒவ்வொன்றுக்கும் திசைகாட்டிக்கும் இடைத்தூரம் 30 செ. மீ. திசைகாட்டியின் விலக்கம் காண்க.

H = ·38 செ. கி. செ. அலகுகள்.

21. படுக்கைவாக்கிலே தொங்கவிடப்பட்டதொரு காந்த|ஊசி ஒரு குறித்த நேரத்திலே 100 ஆட்டங்கள் ஆடுகிறது. ஒரு காந்தச்சட்டம் இதனருகே காந்தத் துருவகத்திலே வைக்கப்பட்டது. ஊசியின் இருசும் இச்சட்டத்தின் இருசும் ஒரே படுக்கைக் கோட்டில் இருக்கின்றன. இப்போது ஊசி, முன் குறித்த அதே நேரத்தில் 50 ஆட்டங்கள் ஆடுகிறது. பூமியின் படுக்கைப்புலம் ·36 செ. கி. செ. அலகுகள் என்று கொண்டு, காந்த ஊசியினருகே காந்தச்சட்டத்தின் புலம் யாதாகுமென்று காண்க.

22. துடிப்புக் காந்தமானி ஒன்றை வருணிக்கவும். அதைக்கொண்டு ஏதேனுமிரண்டிடங்களின் காந்தப்படுக்கைப் பிரிநிலைகளை எவ்வாறு ஒப்பிடலாமென்று கூறுக.

ஒரு சிறு காந்தஊசி பூமியின் புலத்திலே நிமிஷத்திற்கு 18 ஆட்டங்கள் ஆடுகிறது. இதற்குப் புறமுக

மாக ஒரு காந்தச்சட்டம் காந்தத்துருவகத்தில் வைக்கப்பட்டபோது அது நிமிஷத்திற்கு 24 ஆட்டங்கள் ஆடிற்று. இப்போது காந்தச்சட்டத்தை மாற்றிவைத்தால் நிமிஷத்திற்கு எத்தனை ஆட்டங்கள் ஆடும்?

(அண்ணுமலை, 1934)

23. படுக்கைவாக்கிலே நால விடப்பட்டதொரு காந்த ஊசி, பூமியின் புலத்திலே நிமிஷத்திற்கு 12 ஆட்டங்கள் ஆடுகிறது. செங்குத்தாகப் பிடிக்கப்பட்டதொரு காந்தச்சட்டத்தின் வடதுருவம், இவ்வூசிக்குத் தெற்கே 9 செ. மீ. விலகி நிற்கும்போது, அது நிமிஷத்திற்கு 20 ஆட்டங்கள் ஆடுகிறது. காந்தச்சட்டத்தின் வடதுருவம் எவ்வளவு தூரம் விலகி இருந்தால் ஊசி நிமிஷத்திற்கு 15 ஆட்டங்கள் ஆடும்?

24. ஒரு சரட்டிலே கட்டித் தொங்குமொரு சிறிய திசைகாட்டியையும், ஒரு சட்டக்காந்தத்தையும் கொண்டு, 'வர்க்க எதிர்விகித விதி' யை எவ்வாறு சரி பார்க்கலாம்.

25. 'காந்தசக்திவரை', 'காந்தத் திருப்பியல்' என்பவற்றுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு சட்டக்காந்தம் 10 செ. மீ. நீளமுள்ளது. அதன் திருப்பியல் 200 செ. கி. செ. அலகுகள். இது காந்தத்துருவகத்தில் இதன் வட துருவம் வடக்கு நோக்குமாறு வைக்கப்பட்டது. இக்காந்தத்தின் நடுவரையின் நெடுக ஒரு சிறு காந்தஊசி தொங்கவிடப்பட்டு அதன் ஆட்டப்பொழுதுகள் நிர்ணயிக்கப்பட்டன. எந்த இடத்திலே இவ்வாட்டப்பொழுது உச்ச நிலையை அடையும்.

$H = 0{\cdot}37$ செ. கி. செ. அலகுகள்.

(சென்னை, மார்ச்சு, 1927)

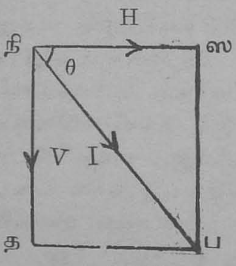
26. ‘சிரான காந்தப்புலம்’ என்றால் என்னவென்பதைத் தெளிவாக விளக்குக. படுக்கைவாக்கிலே தொங்கவிடப்பட்ட ஒரு சிறு காந்தஊசி, ஒரு குறித்த காலத்திலே 100 ஆட்டங்கள் ஆடுகிறது. இப்போது ஒரு காந்தச்சட்டம் இச்சிறிய ஊசியின் அருகிலே, காந்தத் துருவகத்திலே வைக்கப்பட்டது. இரண்டு காந்தங்களும் ஒரு படுக்கைக் கோட்டிலே நிற்கின்றன. இப்போது சிறிய ஊசி அதே நேரத்தில் 50 ஆட்டங்கள் மட்டுமே ஆடுகிறது. பூமியின் படுக்கைப் பிரிகிலே 0·36 செ. கி. செ. அலகுகள் என்று கொண்டு, சிறிய ஊசியின் மையத்திலே காந்தச்சட்டத்தின் புலம் யாதாகுமென்று கணக்கிடுக.

(சென்னை : செப். 1923)

அத்தியாயம் 4

பூமியின் காந்தவியல் (Terrestrial magnetism)

பூமியின் புலம் :—பூமியின் மேற்பரப்பில் எல்லா இடங்களிலும் காந்தப்புலம் இருப்பதாயும், இப்புலத்தின் வலிமையும் திசையும் இடத்துக்கிடம் வேறுபட்டிருப்பதாயும் கூறினேம். ஓரிடத்தில் இப்பூமியின் புலத்தைப்பற்றிக் கூறவேண்டுமானல் (1) அப்புலத்தின் வலிமையையும் (2) அதன் திசையையும் வரையறுத்துக் குறிப்பிடவேண்டும். காந்தப்புலங்கள் திசையோடு கூடிய இராசிகளாதலால் அவற்றை இணைகரவிதியால் கூட்டவும், பிரிக்கவும் கூடும். ஓரிடத்திலுள்ள பூமியின் புலத்தைப் படுக்கைத் திசையிலும் நிலைத் திசையிலுமாக இரண்டு பிரிநிலைகளாகப் பிரிக்கலாம். படுக்கைப் பிரிநிலையைப் படுக்கைப்புலம் என்று கூறுவதும், அதை H என்று குறிப்பிடுவதும் வழக்கம். அப்படியே நிலைப் பிரிநிலையை நிலுவைப்புலமென்று கூறுவதும், அதை V என்று குறிப்பிடுவதும் வழக்கம். இவ்விரண்டு பிரிநிலைகள் கொண்ட மொத்தப் புலத்தைக் கூட்டுப்புலம் என்று கூறுவார்கள். கூட்டுப்புலத்திற்கும் படுக்கைப் புலத்திற்கும் இடைப்பட்ட கோணம் 'இறக்கம்' (Dip) எனப்படும். கூட்டுப்புலமாகிய I-க்கும், H, V-க்களுக்கும் உள்ள உறவைப் படத்திலிருந்து தெரிந்துகொள்ளலாம்.



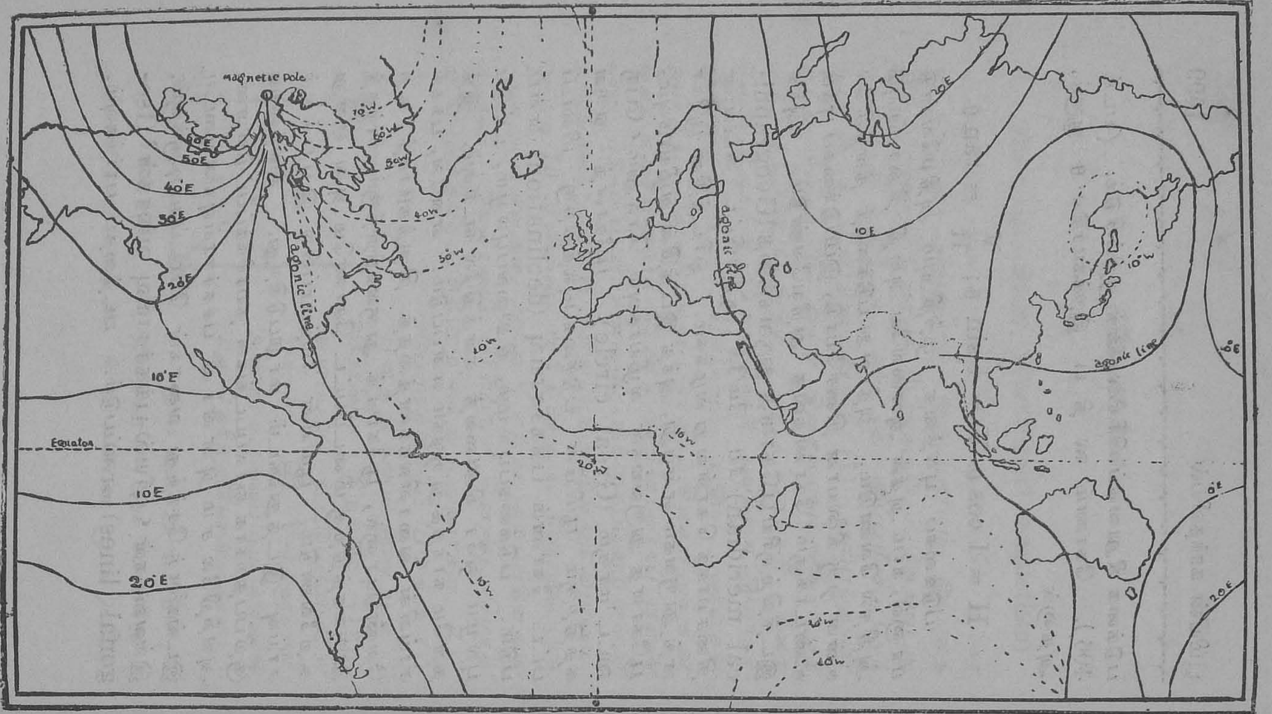
படம் 406

நிப என்பது கூட்டுப்புலத்தை அளவிலும் போக்கிலும் குறிப்பிடுமானல், நிஸ, நித என்பன முறையே

படுக்கை நிலுவைப் பிரிநிலைகளைக் குறிப்பிடும். (படம் 406). கோணம் ஸ நி ப இறக்கமாகிய θ ஆகும். அதனால்

$$H = I \cos \theta, V = I \sin \theta; \frac{V}{H} = \tan \theta.$$

படுக்கைப் புலத்தை முற்றிலும் அறியவேண்டுமானல், நாம் அதன் அளவையே அன்றி திசையையும் அறிதல் வேண்டும். அதாவது படுக்கைத் தளத்திலே உள்ள ஒரு நிலையான திசையோடு, இப்படுக்கைப் புலம் உண்டாக்கும் கோணத்தை அறியவேண்டும். அந்த இடத்திற்குரிய பூகோளத் துருவகத்தை (Geographical meridian) யே மேலே குறிப்பிட்ட நிலையான திசையாகக் கொள்வது வழக்கம். ஓரிடத்தின் பூகோளத் துருவகம் என்பது, அந்த இடத்தின் வழியாகவும், பூகோளத் துருவங்கள் வழியாகவும் செல்லும் ‘பெருவட்ட’மாகும் (Great circle). பூகோளத் துருவகத்திற்கும் பூமியின் படுக்கைப்புலத்திற்கு மிடைப்பட்ட கோணம் பக்கச்சாய்வு (declination) எனப்படும். படுக்கைப்புலமும், நிலுவைப்புலமும், கூட்டுப் புலமும் ஒரே நிலுவைத் தளத்திலே கிடக்கும். இத் தளமே காந்தத்துருவகம் எனப்படும். எனவே, பக்கச் சாய்வின் வரைவிலக்கணத்தைத் திருத்தமாகக் கூற வேண்டுமானல், பூகோளத் துருவகத்திற்கும் காந்தத் துருவகத்திற்கு மிடைப்பட்ட கோணமே அது என்று கூறவேண்டும். பூமியின் மேற்பரப்பில் இப்பக்கச் சாய்வு இடத்துக்கிடம் மாறுபடுகிறது. இவற்றைக் குறிப்பதற்காக ஞாலப்படங்கள் தயாரிக்கப்பட்டுள்ளன. அவற்றிலே சம அளவான பக்கச்சாய்வுகளையுடைய இடங்களைச் சேர்த்து வரைகள் போடப்பட்டிருக்கும். இவ்வரைகள் ‘ஓரியல்-பக்கச்சாய்வு வரைகள்’ (Isogonal lines) எனப்படும். படத்தைப் பார்க்கவும்.


magnetic pole
60E
50E
40°E
30°E
20°E
10°E
10E
20°E
Equator
agonic line
agonic
agonic line
10E
20E
10°W

படம் 407

(படம் 407). அதில் புள்ளிவரைகளெல்லாம் கீழ்த் திசைப் பக்கச்சாய்வுள்ள இடங்களையும், தொடர் வரைகள் மேல்திசைப் பக்கச்சாய்வுள்ள இடங்களையும் காட்டுகின்றன. இவற்றினிடையே பக்கச்சாய்வு சூனியமாகிய வரைகள் இருக்கின்றன. இவை "பக்கச்சாய்வில்லா வரைகள்" (Agonic lines) எனப்படும். இவ்வரையின் மீதுள்ள இடங்களில் காந்தங்கள் உண்மையான தெற்குவடக்கு திசையைக் காட்டும். இவற்றிலே ஒரு பக்கச்சாய்வுவரை வட அமெரிக்காவின் வடக்கே ஆரம்பித்து, இரு அமெரிக்காக் கண்டங்களின் வழியாகவும் பாய்ந்து, தெற்கு நோக்கிச் செல்லுகிறது. மற்றொன்று நார்வேயின் வடக்கே தோன்றி, பின்லாந்து, போலாந்து, கருங்கடல், ஆசியாமைனர், அரேபியாவின் மேற்குக்கரை, சோமாலிலாந்து என்னும் நாடுகளின் வழியாகத் தெற்கே வந்து, வடகிழக்கே திரும்பி, வட இந்தியாவின் குறுக்கேயும், தென் சீனத்தின் வழியாகவும், கிழக்கே சென்று, 'சைபீரியச் சுழல்' (Siberian knot) என்னும் பெரிய வட்டமொன்றிட்டு, மறுபடியும் இந்து சீனா, மலேயா, சுமத்திரா, மேற்கு ஆஸ்திரேலியா வழியாகத் தெற்கு நோக்கிச் செல்லுகிறது.

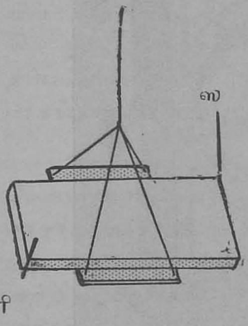
இவ்வாறே ஒரே இறக்கமுள்ள இடங்களைச் சேர்த்து இழுக்கும் கோடுகளுக்கு 'ஓரியல்-இறக்க வரைகள்' (Isoclinals) என்று பெயர். இவ்வரைகள் ஏறக்குறைய பூமியின் அக்ஷவரைகளுக்கு இணையானவை. இதிலும் இறக்கம் சூனியமாகிய வரையொன்று பூமியைச் சுற்றியோடுகிறது. இது 'காந்த நடுவரை' (Magnetic equator) எனப்படும். பூமியின் மீது இரண்டிடங்களில் மட்டும் இறக்கத்தின் மதிப்பு 90° ஆகிறது. இவ்விரண்டிடங்களும் காந்தத்துருவங்கள் (Magnetic poles) எனப்படும். எல்லாத் திசைகாட்டிகளும் இவ்விரண்டு துருவங்களையே காட்டி நிற்

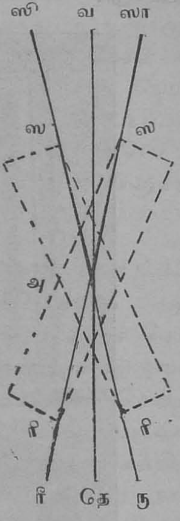
கின்றன. ஓரிடத்திலுள்ள 'பக்கச்சாய்வு', 'இறக்கம்', 'படுக்கைப்புலம்' என்னும் இம்மூன்றும் அவ்விடத்தின் காந்த மூலங்கள் (Magnetic elements) எனப்படும்.

பக்கச்சாய்வை அளத்தல்:—ஓரிடத்தில் பக்கச்சாய்வை அளக்கவேண்டுமானால், அவ்விடத்திலே பூகோளத் துருவகத்தையும், காந்தத்துருவகத்தையும் நிர்ணயிக்கவேண்டும். இவற்றிலே பூகோளத் துருவகத்தைச் சூரியன் உச்சியில் இருக்கும்போது விழும் நிழலைக் கொண்டோ, அல்லது வேறு வானவியல் முறைகளை (Astronomical methods)க் கொண்டோ நிர்ணயித்து விடலாம். காந்தத்துருவகத்தை நிர்ணயிக்க, ஒரு மெல்லிய நீளமான காந்தஊசியைத் தன்வயமாகத் தொங்கவிட்டு, அது நிற்கும் திசையைக்கொண்டு அதைத் தீர்மானிக்கலாம். ஆனால் இதில் சிறிது பிழையேற்படக்கூடும். மெல்லிய நீண்ட காந்தஊசி கிடைக்குமானால், அதன் வடிவியல் இருசும் காந்த இருசும் ஒன்றே என்று கொள்ளலாம். ஆனால் சட்டக்காந்தத்தைப் போன்ற, அகன்ற பரப்பை உடைய காந்தங்களில், அவற்றின் வடிவியல் இருசும் காந்த இருசும் ஒன்றேயென்று கொள்வது சரியல்ல. எனவே, ஒரு சட்டக்காந்தத்தின் காந்த இருசையும், ஓரிடத்தில் காந்தத் துருவகத்தையும் காணும் முறை வருமாறு:

ஒரு மரப்பலகையின்மீது ஒரு காகிதத்தைப் பரப்பித் தைத்துவிடவும். ஒரு சட்டக்காந்தத்தின் இரு முனைகளிலும் ஸ, ரி என்னும் இரண்டு பித்தளைக் குண்டூசிகளை, அதற்கு நிமிர்வையாகக் கீழ் நோக்கி இருக்கும்படி மெழுகினால் ஒட்டவும். (படம் 408 (1)). முறுக்கில்லாத ஒரு பட்டு நூலின் நுனியிலே, ஒரு அங்கவடியின் உதவியால், சட்டக்காந்தத்தைப் படுக்கைவாக்

கிலே தொங்கவிடவும். அதிலுள்ள ஊசிகள் காகிதத்தைத் தொடாமல் சற்று மேலே தூக்கி நிற்கவேண்டும். காற்றினல் அலைக்கப்படாமல் கண்ணுடிக்கூண்டை மேலே கவிழ்க்கவும். சட்டக்காந்தம் ஆடாமல் ஒரு நிலையை அடைந்தவுடன் ஸா, ரீ என்னும் இரண்டு குண்டூசிகளை ஸா, ஸ, ரி, ரீ ஒரே கோட்டில் இருக்கும்

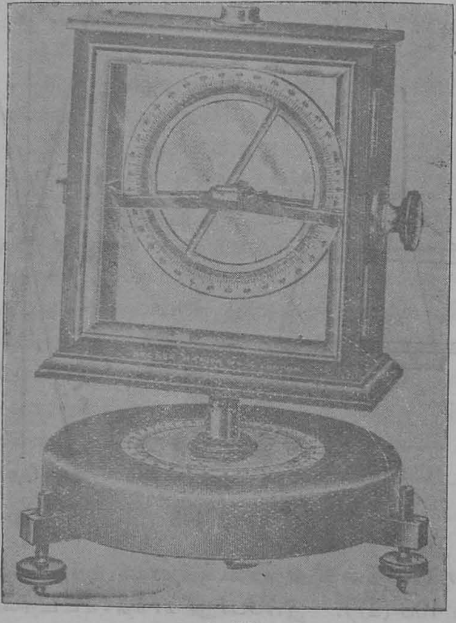




(1) படம் 408 (2)

படி காகிதத்தின்மீது செங்குத்தாகக் குத்தி வைக்கவும். (படம் 408 (2)). இப்போது காந்தச்சட்டத்தைக் கீழ் மேலாகும்படி புரட்டி, மறுபடியும் **ஸி**, ரு என்னும் இரண்டு குண்டூசிகளை **ஸி**, ஸ, ரி, ரு ஒரே கோட்டில் நிற்கும்படி குத்தவும். இப்போது காகிதத்தில் குத்திய ஊசிகளைத் தவிர, மற்ற எல்லாவற்றையும் பலகையினின்றும் நீக்கிவிட்டு, ஸா ஸ ரி ரீ, **ஸி** ஸ ரி ரு என்னும்

கோடுகளை இழுக்கவும். இவையிரண்டும் அ என்னு மிடத்தில் வெட்டுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது ஸா அ ஸி என்னும் கோணத்தை வ அ தே என்னும் ஈரரரியால் இரு கூறுக்கவும். இப்போது கண்ட வ தே என்னும் கோடே காந்தத் துருவகத்தின் திசையாகும். சோதனைகள் முடியும்வரை மரப்பலகையை அசைக்கக் கூடாது.



படம் 409

இறக்கத்தை அளத்தல்:—இதற்கு 'இறக்க வட்டம்' (Dip circle) என்னும் கருவி கையாளப்படுகிறது. இதில் செங்குத்தாக நிறுத்தப்பட்டுள்ள ஒரு வட்டம் பாகைகளாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது. (படம் 409)

இதன் மையத்திலே ஒரு படுக்கை இருசைச் சுற்றிச் சுழலும் ஒரு நீண்ட காந்தஊசி இருக்கும். இப்படுக்கை இருசு அகேட்டினாலான (Agate) கத்தி முனைகளின் மீது தங்கி நிற்கும். இக் கருவியின் வலது புறத்தி லுள்ள ஒரு திருகைத் திருப்பினால், காந்தஊசி கத்தி முனைகளைவிட்டு மேலெழும். இவையெல்லாம் காற்றினால் அலைக்கப்படாமல் இருப்பதற்காகக் கண்ணாடிச் சன்னல் கொண்ட பெட்டியினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கும். இப்பெட்டி முழுவதுமே ஒரு நிலைவை இருசைச் சுற் றிச் சுழலக்கூடும். இவ்வாறு சுழலும்போது பெட்டி யின் நிலையைக் குறிப்பதற்காகப் பெட்டியினடிப்புறத் தில் ஒரு படுக்கைவாக்கிலுள்ள வட்ட அளவி பொருத் தப்பட்டிருக்கிறது. இக்கருவியில் இரும்பினாலான பாகங்கள் ஏதும் கிடையாது.

இதை உபயோகிக்குமுன் இதிலுள்ள வட்டம் செங்குத்தாய் நிற்கும்படி செய்யவேண்டும். ஒரு சாராய மட்டத்தினுதவியால் இதை எளிதாகச் செய்ய லாம். இப்போது இக்கருவின்ப நிலைவை இருசைச் சுற்றித் திருப்பவும். ஒரு நிலையில் காந்தஊசி செங்குத் தாகத் திரும்பி நிற்கும். அந்நிலையில் பெட்டியை வைத்துவிட்டால் வட்டமானது காந்தத்துருவகத்திற்கு செங்குறுக்காக நிற்கும். எனவே, மேலும் 90° தூரம் பெட்டியைத் திருப்பினால் வட்டமானது காந்தத்துருவ கத்தோடு பொருந்தி நிற்கும். இப்போது காந்தஊசி, காந்தத்துருவகத் தளத்தில் தன்வயமாகத் திரும்பக் கூடும். எனவே, இக்கருவியின் அமைப்பில் ஏதும் பழுதில்லாவிட்டால், காந்தஊசி பூமியின் புலத்தைக் காட்டிநிற்கும். படுக்கைத் திசையோடு இவ்வூசி உண் டாக்கும் கோணமே இறக்கம் ஆகும். ஊசியின் இரு முனைகளின் நிலையையும் வாசிக்கவும். பிறகு பெட் டியை 180° தூரம் திருப்பி, மறுபடியும் ஊசியின்

முனைகளது நிலையை வாசிக்கவும். இப்போது ஊசி சுழலும் இருசை எதிர்த் திசையில் திருப்பி வைக்கவும். இதனால் மறுபடியும் ஊசியின் துருவங்களும் மாறிநிற்கும். முன்போலவே நான்கு வாசகங்களை எடுக்கவும். இவ்வெட்டு வாசகங்களின் பொதுமையைக் கணக்கிட்டால் அது அந்த இடத்திற்குரிய இறக்கமாகும்.

பூமியின் படுக்கைப்புலத்தை அளத்தல் :—துடிப்புக்காந்தமானியின் உதவியால் ஒரு சிறு காந்தத்தின் ஆட்டப்பொழுது காணப்படும். இது MH-இன் மதிப்பைக் கொடுக்கும். ஏனென்றால்

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MH}}$$

இதை வர்க்கிக்க $T^2 = \frac{4\pi^2 I}{MH}$

ஆகையால் $MH = \frac{4\pi^2 I}{T^2}$

இதே காந்தத்தை ஒரு விலக்கக் காந்தமானியோடு கையாண்டு $\frac{M}{H}$-ன் மதிப்பைக் காணவும்.

முனை நோக்கு நிலையில் வைத்ததாகக் கொண்டால் $\frac{2M}{d^3} = H \tan\theta$ ஆகும்.

இதனால் $\frac{M}{H} = \frac{d^3 \tan\theta}{2}$

என்று கிடைக்கும். ஒன்றை மற்றொன்றால் வகுக்க $H^2 = \frac{8\pi^2 I}{T^2 d^3 \tan\theta}$ என்றாகும்.

I, T, d, θ இவற்றின் மதிப்புகளைக் கொண்டு H-ன் மதிப்பைக் காணலாம். இதுவே அந்த இடத்தில் பூமியின் படுக்கைப்புலமாகும்.

பூமியின் புலத்தினுலேற்படும் மாறுபாடுகள் :— பூமியின் மேற்பரப்பில் காந்தவியல் மூலங்கள் இடத்துக் கிடம் மாறுவதோடு, காலப்போக்கிலும் மாறுபாடடை கின்றன. இவற்றில் நாடோறும் ஏற்படும் மாறுபாடு கள், ஆண்டுதோறும் ஏற்படும் மாறுபாடுகள், நூற் ருண்டுதோறும் ஏற்படும் மாறுபாடுகள் எனப் பலவகை மாறுபாடுகள் உண்டு. சில வானவியல்கூடங்களில் (Astronomical observatories) இவற்றை யெல்லாம் எப்போதும் கண்காணித்து குறித்து வருகிருர்கள்.

இவ்வாறு ஏற்படும் சீரான மாறுபாடுகளே யன்றி சில சமயங்களில் திடீரெனக் குழப்பமான மாறுபாடு கள் நிகழ்வதுமுண்டு. இவையே காந்தப்புயல்கள் (Magnetic Storms) எனப்படும். இவற்றிற்கும் ஞாயிற்றுப் பிழம்பில் தோன்றும் கரும்புள்ளிகளுக்கும் ஏதோ ஒருவிதத் தொடர்பு இருக்கிறது. ஞாயிற்றுப் பிழம்பில் பெரிய கரும்புள்ளிகள் திடீரெனத் தோன் றும்போது, காந்தப்புயல்களும், வடதுருவ வேள் ளொளி (Aurora Borealis) தோற்றமும் ஏற்படுகின் றன. இவ்வட துருவவெள்ளொளி என்பது வடதுரு வப் பிரதேசங்களில் வானத்தில் தோன்றும் சில பிர காசமான ஒளிக்கொடிகளாகும். இவை சேர்ந்தாற் போல் பல நாட்கள் மறையாதிருந்து இராக்காலங்களில் நல்ல வெளிச்சத்தைக் கொடுக்கும். ஞாயிற்றுப் பிழம் பின் கரும்புள்ளிகளில் இருந்து வெளிவரும் சில அற் புதக் கதிர்களாலேயே, வடதுருவ வெள்ளொளியாகிய மின்சாரப் பாய்ச்சலும், காந்தப்புயல்களும் ஏற்படுகின் றன என்று பொதுவாகத் தெரிகிறது.

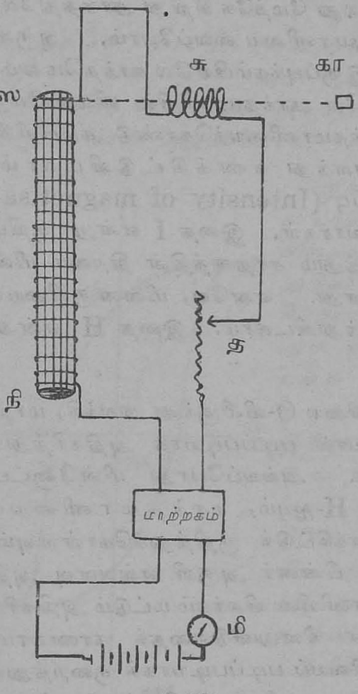
காந்தத்துருவங்கள் :—இத்துருவங்களிலே காந்த ஊசிகள் செங்குத்தாக நிற்குமென்று முன்பே கூறி ேனும். இவையும் ஓரிடத்தில் நிலைபெற்றிருப்பதில்லை.

விலகி நிற்கின்றன. காந்த வடதுருவத்தை 'ராஸ்' (Ross) என்பவர் 1831-ம் ஆண்டிலே கண்டார். காந்தத் தென் துருவம் பூகோளத் தென்துருவத்தை நாடிச் சென்ற கூட்டத்தாரால் 1908-ம் ஆண்டில் காணப்பட்டது.

அத்தியாயம் 5

காந்தவியலில் சில விசேஷ அம்சங்கள்

காந்தவியல் தயக்கம் (Hysteresis):—காந்தவியல் பொருள்களின் 'ஏற்புத்திறன்', 'காப்புத்திறன்' என்ற இவைகளையும், எச்சக் காந்தத்தையும் முன்பு கண்டோம். அவற்ருல் ஏற்படும் விளைவுகளைச் சிறிது காண்போம். ஒரு நீண்ட இருப்புக் கம்பியின் மீது உறையிட்ட (Insulated) மெல்லிய செப்புக் கம்பியைப் பலமுறை சுற்றி, இச்செப்புக் கம்பியின் வழியாக மின்சார அருவியைச் செலுத்தினுல் உள்ளே வைக்கப் பட்டுள்ள இருப்புக் கம்பி காந்தவியல்பை அடையுமென்பதை நாம் அறிவோம். இதைக்கொண்டு ஒரு பரிசோதனையைச்



படம் 410

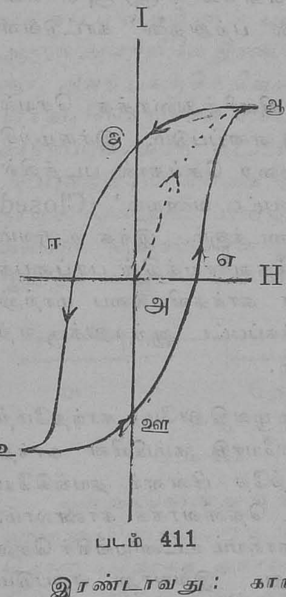
செய்வோம். உறையிட்ட மெல்லிய செப்புக் கம்பியாற் சுற்றப்பட்ட நீண்ட ஸ நி என்ற கண்ணுடிக் குழாயை

(Solenoid)ச் செங்குத்தாக நிறுத்திவைத்து, அதே நீளமுள்ளதொரு இருப்புக்கம்பியை அதனுள்ளிட்டு வைக்கவும். (படம் 410). செப்புக்கம்பியின் முனைகளுக்கிடையே ஒரு மின்கலவடுக்கு, ஒரு மின்னோட்டமானி, ஒரு மாற்றகம், த என்ற ஒரு மாறியல் தகைவி இவற்றைக்கொண்ட ஒரு மண்டலத்தை (Circuit) ஏற்படுத்தவும். அக்கருவியின் மேல் முனையின் மட்டத்திலே அதற்கு கிழக்கே அல்லது மேற்கே சிறிது தூரத்திலே, கா என்ற ஒரு காந்தமானியை வைப்போம். அருவியைச் செலுத்தினுல் இருப்புக்கம்பியிலே காந்தமேறும். அதன் துருவத்தினுலே காந்தமானியில் விலக்கமேற்படும். எனவே, காந்தமானியைக்கொண்டு கம்பியின் துருவவலிமையை அளந்து கணக்கிட்டுவிடலாம். இதைக் காந்தஉறைப்பு (Intensity of magnetisation) என்று சொல்வார்கள். இதை I என்று குறிப்போம். காந்தப்படுத்தும் சாதனத்தின் திறமை மின்னருவிக்கு ஏற்பவுள்ளது. எனவே, மின்னருவியைக் கொண்டு அதை அளந்துவிடலாம். இதை H என்று குறிப்பிடுவோம்.

நிற்க, மின்னருவியை O-விலிருந்து துவக்கி, மாறியல் தகைவியினுதவியால் படிப்படியாக அதிகரித்துக் கொண்டே போகவும். அவ்வப்போது மின்னோட்டமானியைக்கொண்டு H-ஐயும், காந்தமானியைக் கொண்டு I-ஐயும் கணக்கிட்டுக் குறித்துக்கொள்ளவும். சிறிது நேரத்திற்குப் பின்னர் அருவி எவ்வளவு அதிகரித்தாலும், காந்தமானியின் விலக்கம் மட்டும் அதிகரிக்காமல் ஒரே நிலையில் நின்றுவிடுவதைக் காணலாம். இதன் பின்னர் அருவியைப் படிப்படியாகக் குறைத்துக் கொண்டே வந்து அது சூனியமாய் விடின், மாற்றகத்தால் அருவியை மாற்றிவிட்டு, பின்னர் பெருக்கிக் கொண்டே போகவும். அவ்வப்போதும் H, I என்னும்

இராசிகளைக் கண்டு குறித்துக்கொண்டே இருக்கவேண்டும். சிறிது நேரத்திலே அருவி எவ்வளவு அதிகரித்தாலும் காந்தமானியின் விலக்கம் மட்டும் அதிகரிக்காமல் ஒரே நிலையில் நின்றுவிடுவதைக் காணலாம். இப்போது மறுபடியும் அருவியைப் படிப்படியாகக் குறைத்து சூனியநிலையிலே மாற்றிவிட்டு, மறுபடியும் அதிகரித்துக்கொண்டே போய் உச்ச நிலையை அடையவும்.

இதிலே கண்ட H, I என்னும் இராசிகளுக்கு ஒரு உருவகம் வரைந்தால் அது படத்தில் கண்டவாறு இருப்பதைக் காணலாம். இந்த உருவகத்திலுள்ள சில விசித்திரங்களை ஆராய்வோம்.



படம் 411

முதலாவது: கம்பியின் காந்தவியல்பு ஒரு உச்ச நிலையையடைந்து பிறகு அதிகரிக்காமல் நின்றுவிடுகிறது. இது இரு வழியிலும் நிகழ்கிறது. ஆ, உ என்ற புள்ளிகளுக்கப்புறம் உருவகம் H இருசுக்கு இணையாகச் செல்வது இதையே காட்டுகிறது. (படம் 411). இந்த நிலையிலே கம்பியில் காந்தவியல்பு தெவிட்டிவிட்டதாகக் கூறப்படும். எனவே ஆ, உ என்பன கம்பியின் தெவிட்டு நிலைகள் ஆகும்.

இரண்டாவது: காந்தமேறிய பின்னர் காந்தமேற்றும் சாதனமாகிய அருவி சூனியமான போதிலும்

கம்பியின் காந்தவியல்பு சூனியமாவதில்லை. இ, ஊ என்ற புள்ளிகளிலே இந்த வரை I இருசை வெட்டுவது இதையே காட்டுகிறது. எனவே அ இ, அ ஊ என்பன கம்பியிலே மிகுந்துள்ள 'எச்சக்காந்தத்தைக்' குறிப்பதாகும்.

மூன்றாவது: அருவி எதிர்த்திசையிலே சிறிது தூரம் சென்ற பின்பே கம்பியின் காந்தவியல்பு சூனியமாகிறது. ஈ, எ என்ற புள்ளிகளிலே, இந்த வரை H இருசை வெட்டுவது இதையே காட்டுகிறது. கம்பியிலுள்ள எச்சக்காந்தத்தை முற்றிலும் அழிப்பதற்கு அ ஈ, அ எ என்பவற்றால் குறிக்கப்பட்ட அளவுக்குச் சக்தி வேண்டியிருக்கிறது. எனவே ஈ அ, அ எ என்பன கம்பியின் 'காந்தவியல் பற்றுதலை' காட்டுவனவாகும்.

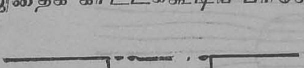
நான்காவது: மேலே விவரித்துரைத்த செயல் முறை ஒரு சுழற்சி (Cycle) எனப்படும். இச்சுழற்சிகளை மீண்டும் மீண்டும் பலமுறை செய்தால், படத்தில் கண்டுள்ளவாறு ஒரு 'அடைபட்ட வளையம்' (Closed loop) அல்லது உருவம் கிடைக்கும். இந்த உருவம் பின்னர் குன்றுவதில்லை. இந்தவளையத்தின் பரப்பைக் கணக்கிட்டு, அது கம்பியின் காந்தவியல்பை மாற்றுவதற்காக அதிலே செலவழிக்கப்பட்ட ஆற்றலுக்கு ஏற்பவுள்ளது என்று காட்டலாம்.

இந்தப் பரிசோதனை முழுவதிலுமே, காந்தமேற்றும் சாதனத்தின் திறமையோடு கம்பியின் காந்தவியல்பு உடனியங்காமல் சற்றே பின்னர் தயங்கியே நின்று வந்தது என்பதைத் தெளிவாகக் காணலாம். அதாவது காரணத்தினோடு காரியம் உடனியங்கிச் செல்லாது தயங்கிப் பின்னின்றது. இவ்வாறு ஏற்படும் இவை பூகோளத் துருவங்களினின்று ஏறக்குறைய 20°

நிகழ்ச்சியே 'காந்தவியல் தயக்கம்' எனப்படும். படத்திலே கண்டுள்ள வளையமும் 'தயக்கவளையம்' எனப்படும்.

சேறிவுக் காந்தவியல் (Para-magnetism),
விலகுக் காந்தவியல் (Dia-magnetism),
அயக்காந்தவியல் (Ferro-magnetism):—

இரும்பு, ஊஃகு, நிகலம் (Nickel), கோபாலம் (Cobalt), மங்கனம் (Manganese) என்பன போன்றவை காந்தவியல்பு வாய்ந்த பொருள்களாகும். 1845-ஆம் ஆண்டிலே, பாரடே மிகுந்த வலிமை வாய்ந்த மின்காந்தங்களைக் கொண்டு எல்லாப் பொருள்களுமே காந்தப்புலத்தினுல் பாதிக்கப்படுகின்றனவென்றும், ஆனுல் அவற்றிலே இரண்டு வகையுண்டென்றும் காட்டினுர். அவற்றுக்கு சேறிவுக்காந்தப் பொருள்கள், விலகுக் காந்தப் பொருள்கள் எனப் பெயரிட்டார். இவற்றை ஒரு காந்தப்புலத்திலே யிட்டால், முன்னே கூறப்பட்டவை அப்புலத்திலே வலிமை அதிகரித்துள்ள இடங்களை நாடிச் செல்லும். பின்னே கூறப்பட்டவை புலத்திலே வலிமை குறைந்துள்ள இடங்களை நாடிச் செல்லும். இதைக் காட்டக்கூடிய பரிசோதனைகள் வருமாறு :



படம் 412

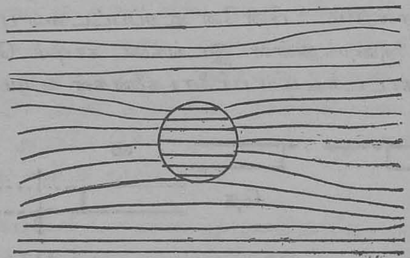
படம் 413

ஒன்றுக்கொன்று எதிரான இரண்டு காந்தத் துருவங்களுக்கிடையே, ஒரு சேறிவுக் காந்தவியல் வாய்ந்ததொரு உலோகத் துண்டை வைத்தால், அது படத்தில் (படம் 412) கண்டவாறு காந்தத் துருவங்களைச்

சேர்க்கும் வ தே என்னும் கோட்டிலே அது நிற்கும். ஆனால் ஒரு விலகுக்காந்தவியல் வாய்ந்ததொரு உலோகத் துண்டை இதே இடத்தில் வைத்தால் அது படத்தில் (படம் 413) கண்டவாறு வ தே என்ற கோட்டிற்குச் செங்குறுக்காக நிற்கும்.

சில சிறந்த செறிவுக்காந்தவியல் பொருள்கள் வருமாறு:

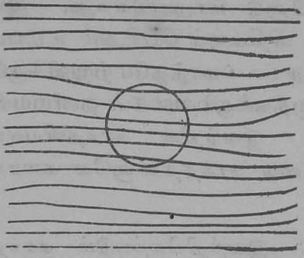
இரும்பு, நிகலம், கோபாலம், மங்கனம், பளிதனம் (Platinum), பிராணவாயு, தித்தேனியம் (Titanium), உறிஞ்சியம் (Palladium), ஆசுமியம் (Osmium) முதலியன. இவை முறையே வர வரக் குறைந்த செறிவுக் காந்தவியல்பு வாய்ந்தனவாகும். இவ்வாறே நிமிளயம் (Bismuth), எரியம் (phosphorus), அந்திமம் (antimony), பாதரசம், நாகம் (Zinc) முதலியன முறையே வர வரக் குறைவான விலகுக்காந்தவியல்பு வாய்ந்தனவாகும். செறிவுக்காந்த நிகழ்ச்சிகள் விலகுக்காந்த நிகழ்ச்சிகளைவிடத் தீவிரமாக இருக்கும்.



படம் 414 (1)

சீரானதொரு காந்தப்புலத்திலே ஒரு செறிவுக் காந்தவியல் வாய்ந்த கோளத்தை இடுவதால், அப்புலத்திலேற்படும் வரை-அமைப்பு முதல் படத்திலே (படம் 414 (1)) காட்டப்பட்டுள்ளது. விலகுக்காந்தவியல்

கோளமொன்றை அப்புலத்திலிடுவதால் ஏற்படும் வரை-



படம் 414 (2)

அமைப்பு இரண்டாவது படத்திலே (படம் 414(2)) காட்டப்பட்டுள்ளது.

விலகுக்காந்தப் பொருள்கள் காந்தத்தினுல் துறக்கப்படும். எனவே அது ஊட்டத்தினுல் காந்தவியல்பு ஏற்படும் போது ஊட்டத்திற்குக் காரணமான துருவத்தைத் தானும் அடையுமென்று கொள்ளலாம். அதாவது இரும்பு எவ்வாறு ஊட்டத்தினுல் துருவங்களை அடைகிறதோ அதற்கு எதிராக விலகுக்காந்தவியல் பொருள் துருவங்களை அடையுமென்று கூறலாம்.

தற்காலத்தில் விஞ்ஞானிகள் செய்த ஆராய்ச்சியின் பயனுகச் சிறந்த செறிவுக் காந்தப் பொருள்களாகிய இரும்பு, நிகலம், கோபாலம் முதலியவற்றைத் தனியாகப் பிரித்து அவற்றுக்கு அயக்காந்தங்கள் எனப் பெயரிட்டார்கள். அவர்கள் கண்ட சில முடிபுகள் வருமாறு :

அயக்காந்தங்கள் :—இவற்றிலே ஒரு பொருளின் காந்தவியல்பு காந்தத்தை ஏற்றுவித்த சாதனத்தின் திறமைக்கு ஏற்ப இருப்பதில்லை. ஆகையால் இவற்றின் தகவாகிய k மாறிலியாகும். இது சூட்டினேடு மாறுபடுகிறது. இவற்றிலே காந்தவியல்பு மிகத் தீவிரமாய் இருக்கும். இவை காந்தத்தினுல் கவரப்படும்.

செறிவுக் காந்தங்கள் :—இவற்றிலே ஒரு பொருளின் காந்தவியல்பு அதை ஏற்றுவித்த சாதனத்தின்

திறமைக்கு ஏற்ப இருக்கும். எனவே k என்பது மாறிலியாகும். இது சூட்டிளுேடு மாறுபடுகிறது. இம் மாறுபாடு க்யூரி (Curie) விதிக்குப் பெரிதும் உட்பட்டது. அவ்விதி வருமாறு: 'காந்தமேற்றுவிக்கும் சாதனத்தின் திறமை மாறதிருக்கும்வரை k தனியியல் சூட்டிற்கு ஏற்பவுள்ளது'. இவற்றின் காந்தவியல்பு தீவிரமானவை அல்ல. இவை காந்தத்திஞலே கவரப்படும்.

விலகுக்காந்தங்கள் :—இவற்றிலேற்படும் காந்தவியல் இரும்பிலேற்படும் காந்தவியல்புக்கு எதிராக இருக்கும். இவற்றிலே k மாறிலியாய் இருக்கும். இது சூடு மாறுபாட்டிஞலும், காந்தமேற்றுவிக்கும் சக்தியாலும் பாதிக்கப்படுவதில்லை. ஆஞல் பிஸ்மத் மட்டும் இவ்விதிக்கு விலக்காகும்.

பௌதிக நூல்

மின்சாரவியல்

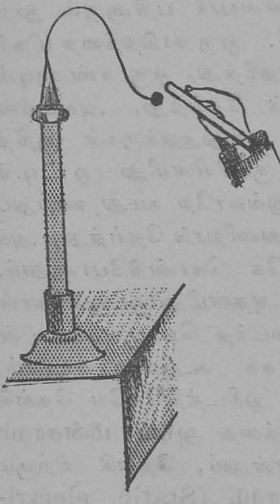
அத்தியாயம் 1

மின்-நிலையியல் (Electro-Statics)

அம்பரை (Amber)த் தேய்த்தால் அது சிறிய நூலிழைத் துண்டுகளையும், அதைப் போன்ற கனமில்லாத சிறிய பொருள்களையும் தன்னிடம் இழுக்கும் சக்தியடைகிறது என்பதை, இருபத்தைந்து நூற்றாண்டுகளுக்கு முன்னரே யவனர்கள் (Greeks) கண்டார்கள். அம்பரேயன்றி, கண்ணாடித் துண்டுகள், அரக்கு போன்ற பல பொருள்களுக்கும் இவ்வித குணமிருப்பதை கில்பர்ட் (Gilbert) என்பார் பதினாறாம் நூற்றாண்டின் இறுதியில் கண்டார். ஒரு காகிதத்தை மிகச் சிறிய துணுக்குகளாகக் கத்தரித்து, ஒரு கண்ணாடிக் குச்சியைப் பட்டுத் துணியில் தேய்த்து, அவற்றின் அருகில் கொண்டுவந்தால், அத்துணுக்குகள் குதித்தோடி வந்து கண்ணாடிக் குச்சியின்மீது ஒட்டிக் கொள்வதைக் காணலாம். இவ்வாறே நமது ஊற்றுப் பேனாவை ஒரு கம்பளித் துணியால் தேய்த்து, அக்காகிதத் துணுக்குகளுக்கருகே கொண்டுபோனாலும், அவை குதித்தோடி வந்து அதன்மீது ஒட்டிக்கொள்ளும். இந்த இயல்பை அடைந்த பொருள்களை மின் சுமையேற்றப்பட்டிருப்பதாகக் கூறுவது வழக்கம். இங்கே மின்சாரம் ஓடாமல் ஓரிடத்திலேயே தேங்கி நிற்கிறது. ஓடும் மின்சாரத்தை அருவி மின்சாரம் (Current electricity) என்றும், தேங்கி நிற்கும் மின்சாரத்தை நிலை மின்சாரம் (Static electricity) என்றும் கூறுவார்கள். இவ்விரண்டு வகை மின் சாரங்களின் விளைவுகள் பல வகைகளில் மாறுபடுகின்றன. இவ்விளைவுகள் வேறுபட்டாலும் இவ்விரண்டு வகை மின்சாரங்களும் ஒன்றே என்பதை பாரடே

(Faraday) காண்பித்தார். எனவே, இவ்விரண்டு வகை மின்சாரங்களும் இயற்கையில் மாறுபடாவிட்டாலும், அவற்றின் விளைவுகளால் இரு வேறு வழிகளில் அவற்றின் ஆராய்ச்சி நடக்கவேண்டியதாயிற்று.

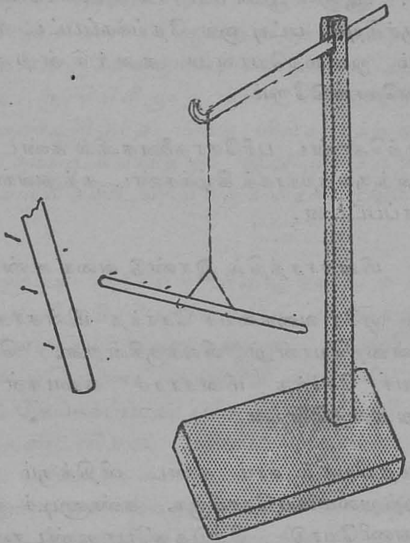
மின்சாரச் சுமைகளில் இரண்டு வகை:—ஒரு தக்கை உருண்டையை (Pith ball) பட்டு நூலினால் கட்டித் தொங்கவிடவும். ஒரு எபொனைட் குச்சியை பூனைத்தோலால் தேய்த்துக் குண்டின் அருகே கொண்டு போனால், அக்குண்டு ஓடிவந்து எபொனைட் குச்சியின் மீது மோதி, பிறகு தெறித்துச் செல்வதைக் காணலாம். (படம் 415). அவ்வாறே தொங்கவிடப்பட்ட மற்றொரு குண்டின் அருகே, ஒரு கண்ணாடிக் குச்சியைப் பட்டுத் துணியில் தேய்த்துக்கொண்டு போனால் அவ்விரண்டாவது குண்டும் ஓடி வந்து குச்சியின்மீது மோதித் தெறித்துச் செல்வதைக் காணலாம். இப்போது கண்ணாடிக்குச்சியை முதல் குண்டினருகிலும், எபொனைட் குச்சியை இரண்டாவது குண்டினருகிலும் கொண்டுபோனால், அவை குண்டுகளை இழுப்பதைப் பார்க்கலாம். இதனால் எபொனைட் குச்சியிலும் கண்ணாடிக் குச்சியிலும் ஏற்பட்ட மின்சாரச் சுமைகள்



படம் 415

வெவ்வேறு வகையானவை என்று தெரிகிறது. இதையே காட்டும் மற்றொரு பரிசோதனை வருமாறு :—

எபொனைட் குச்சி ஒன்றின் ஒரு முனையை உலர்ந்த பூனைத்தோலினால் தேய்த்து, அதையொரு பட்டு இழை



படம் 416

யினால் கட்டி (படம் 416)இல் கண்டவாறு தொங்கவிடவும். இக்குச்சி அங்கவடியின்மீது படுக்கை வாக்கிலே தொங்கவேண்டும். மற்றொரு எபொனைட் குச்சியின் முனை யொன்றையும் இவ்வாறே பூனைத் தோலினால் தேய்த்து, அதை முதல் குச்சியின் தேய்த்த முனைக் கருகே கொண்டுவரவும். அக்குச்சி விலகியோடுவதைக் காணலாம். ஒரு கண்ணாடிக் குச்சி ஒன்றை யெடுத்து,

அதன் ஒரு முனையைப் பட்டிலே தேய்த்து, அதை முன் கண்ட எபொனைட் குச்சியின் தேய்த்த முனையினருகே கொண்டுவரவும். அது இப்போது கவரப்படுவதைக் காணலாம். எனவே, ஒரே முறையில் தேய்க்கப்பட்ட இரண்டு எபொனைட் குச்சிகள் ஒன்றையொன்று தள்ளுகின்றன. ஆனால் பூனை மயிரால் தேய்க்கப்பட்ட எபொனைட் குச்சியும், பட்டினால் தேய்க்கப்பட்ட கண்ணாடிக் குச்சியும் ஒன்றையொன்று கவர்கின்றன என்று தெரிந்துகொள்கிறோம்.

மேற்கொண்ட பரிசோதனைகளில் கண்ட உண்மைகளை விளக்குவதற்காகக் கீழ்க்கண்ட தத்துவங்கள் மேற்கொள்ளப்பட்டன.

(1) மின்சாரத்தில் இரண்டு வகை உண்டு.

(2) ஒரே வகையைச் சேர்ந்த மின்சாரச் சுமைகள் ஒன்றையொன்று விலக்குகின்றன. வெவ்வேறு வகையைச் சேர்ந்த மின்சாரச் சுமைகள் ஒன்றையொன்று கவருகின்றன.

காந்தவியலில் நாம் கண்ட விதிக்கும் இதற்கும் உள்ள ஒற்றுமையை நோக்குக. கண்ணாடிக் குச்சியைப் பட்டுத்துணியோடு தேய்த்தபோதுண்டான மின்சாரத்தை மிகை மின்சாரமென்றும், எபொனைட் குச்சியைப் பூனைத்தோலோடு தேய்த்தபோதுண்டான மின்சாரத்தைக் குறை மின்சாரம் என்றும் கூறுவார்கள். இருவகை மின்சாரச் சுமைகளும், கனமில்லாத காகிதத் துணுக்கு போன்ற பொருள்களைத் தம்மிடம் கவரும் சக்தி வாய்ந்தன. எபொனைட் குச்சியை முதலில் தக்கைக் குண்டினருகே கொண்டுபோனபோது அது கவரப்பட்டுக் குச்சியின் மீது மோதியது. மோதியவுடன் அது குறை மின்சாரத்தை ஏற்றுக்கொண்டது.

குச்சியில் மிகுந்து நின்ற குறை மின்சாரம் அதை விலக்க அக்குண்டு தெறித்தோடியது. இவ்வாறே இரண்டாவது குண்டும் மிகை மின்சாரத்தை ஏற்று கண்ணாடிக் குச்சியிலிருந்த மிகை மின்சாரத்தால் விலக்கப்பட்டு தெறித்து ஓடிற்று. பிறகு கண்ணாடிக் குச்சியை முதல் குண்டினருகே கொண்டுவரக் குச்சியிலிருந்த மிகை மின்சாரம் குண்டிலிருந்த குறை மின்சாரத்தைத் தன்னருகே வரும்படி கவர்ந்தது. அவ்வாறே எபொனைட் குச்சியிலிருந்த குறை மின்சாரம் இரண்டாவது குண்டிலிருந்த மிகை மின்சாரத்தைத் தன்னருகே வரும்படி கவர்ந்தது. இதுவே மேற்கண்ட சோதனைகளில் கண்டவற்றிற்கு உரைக்கப்படும் விளக்கமாகும்.

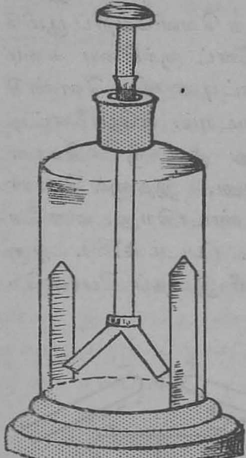
கண்ணாடிக் குச்சியில் மிகைச்சுமை ஏற்பட்டபோது, அதனோடு தேய்க்கப்பட்ட பட்டுத்துணியில் குறை மின்சாரம் உண்டாவதாகக் காணப்பட்டது. இவ்வாறே எபொனைட் குச்சியில் குறை மின்சாரமும் அதனோடு தேய்க்கப்பட்ட பூனைத் தோலில் மிகை மின்சாரமும் உண்டாகிறது. மற்றும் கண்ணாடிக் குச்சியிலேற்பட்ட மிகைச்சுமையையும் பட்டுத்துணியிலேற்பட்ட குறைச்சுமையையும், ஒரே சமயத்தில் ஒரு மூன்றாவது பொருளின் மேலேற்றினால், அது சுமையற்று அலித்தன்மையோடிருப்பதைக் காணலாம். எனவே, 'ஒரு வகை மின்சாரச் சுமை ஏற்பட்டபோது அதேயளவுள்ள மற்ற மின்சாரச் சுமையும் உண்டாகிறது' என்று அறிகிறோம்.

உகையும் பொருள்களும் உகையாப் பொருள்களும் (Conductors and non-conductors) :—நாம் ஒரு பித்தளைக் கம்பியைப் பூனைத் தோலில் தேய்த்தால் அதில் மின்சுமை தோன்றுவதில்லை. ஆனால் இப்

பித்தளைக் கம்பிக்கு ஒரு எபொனைட் பிடிபோட்டுப் பித்தளைக் கம்பியைத் தொடாமல் அதைப் பூனைத் தோலில் தேய்த்தால், அதில் குறை மின்சுமை தோன்றுவதைக் காணலாம். இதனால் நாம் தெரிந்து கொள்ளுவதாவது, பித்தளைக் கம்பியைப் பூனைத் தோலில் தேய்த்தால் மின்சுமை உண்டாகிறது. ஆனால் நாம் கம்பியை நேரே கையில் பிடித்துக்கொண்டிருந்தால் அதில் உண்டாகிய மின்சுமை நமது கையில் ஏறி, உடம்பின் வழியாகப் பூமிக்குள் சென்றுவிடுகிறது. ஆனால் எபொனைட் பிடியை நடுவில் இட்டபோது மின்சாரம் அதன் வழியாகப் பாயமுடியவில்லை. மின்சாரத்தைத் தம்முள் பாய்ந்து செல்லவிடும் பொருள்களுக்கு உகையும் பொருள்கள் அல்லது உகைவிகள் என்று பெயர். எல்லா உலோகங்களும், ஈரமண்ணும், மனித உடலும் உகைவிகள் ஆகும். மின்சாரத்தைத் தம்முள் பாயவிடாது தடுக்கும் பொருள்களுக்கு உகையாப் பொருள்கள் அல்லது தகைவுப் பொருள்கள் என்று பெயர். எபொனைட், கந்தகம், கண்ணாடி, அரக்குப் படிகம், மெழுகு, பட்டு முதலியன நல்ல தகைவுப் பொருள்களாகும். சில பொருள்கள் இடைப்பட்ட நடுத்தர இயல்பு வாய்ந்தன. காய்ந்த மரக்கட்டையும், காகிதமும் இவ்வகையைச் சேர்ந்தவை. இப்பூமி ஒரு பெரிய உகைவியாகும். பூமியோடு தகைவிகள் மூலமாய்ச் சேர்க்கப்பட்ட பொருள் 'புதைக்கப்பட்டது' (Earthed) எனப்படும்.

பொன்னிலை மின்காட்டி (Gold leaf electroscope):—ஒரு பொருள் மின்சுமை யேற்றிருக்கிறதா வென்று அறிவதற்காக ஏற்பட்ட கருவிகளுக்கு 'மின்காட்டி' கள் எனப் பெயர். இவற்றில் முதன்மையானது பொன்னிலை மின்காட்டி. (படம் 417). இரண்டு பொன்னிலைகள் ஒரு உலோகக் கம்பியின் நுனியிலி

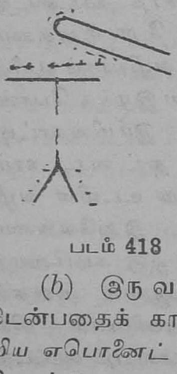
ருந்து தொங்குகின்றன. இக்கம்பி உகையாப் பொரு ளாலாகிய ஒரு அடைப்பான் மூலம் செருகப்பட்டிருக் கிறது. இதைச் சூழ்ந்துள்ள ஒரு கண்ணுடிச் சாடி யின் வாயில் இவ்வடைப்பான் பொருத்தப்பட்டிருக் கிறது. கம்பியின் மற்ருெரு நுனியில் ஒரு உலோகத் தட்டு இருக்கிறது. பொன்னிலை களை அடிபடாமலும் காற்றலைக் காமலும் கண்ணுடிச் சாடி காப் பாற்றுகிறது. பொன்னிலைகளும் கம்பியும் மேலுள்ள தட்டும் சேர்ந்து ஒரே உகைவியாகும். ஒரு சுமை யேறிய பொருளைக் கொண்டு மேலேயுள்ள தட்டைத் தீண்டினல் அச்சுமை பொன் னிலைகளுக்குப் பரவும். இரண்டு இலைகளும் ஒன்றையொன்று விலக்க அவை விரிந்து நிற்கும். மிக அதிகமாய் விரிந்தால் அவை சாடியின் உட்புறத்தில் ஒட்டப் பட்டிருக்கும் தகரத் தகட்டைத் தொடும். உடனே மின்சுமை அத்தகடுகளின் வழியாகப் பூமிக் குக் கொண்டு செல்லப்படும். சுமையை இழந்த பொன் னிலைகள் ஒன்றுசேர்ந்து தொங்கும். இம்மின்காட்டி சுமையேறியிருக்கும்போது அதன் தட்டை நாம் கையால் தொட்டால், மின்சுமை நமது உடலின் வழி யாக எளிதில் பூமிக்குள் சென்றுவிடும். இதுவே சுமை யிறக்கும் முறையாகும். சுமையேறிய ஒரு கம்பியைத் தட்டின் அருகே கொண்டுவந்து, ஆனல் அதைத் தொடாமல் வைத்திருந்தால், பொன்னிலைகள் விரி வதைக் காணலாம். இப்போது மின்காட்டி ஊட்டத் தால் சுமையேற்றப்பட்டதாகக் (Electrified by



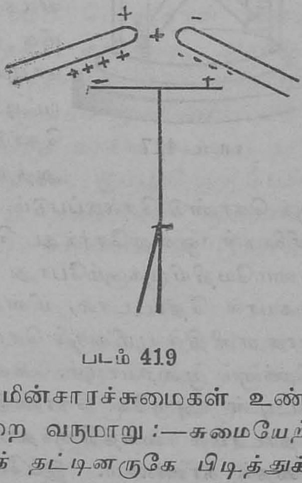
படம் 417

induction) கூறப்படும். இது எவ்வாறு நிகழ்கிறது என்பதை இனிவரும் சோதனைகளால் காண்போம்.

மின்னிலையியல் விதிகளை விளக்குதல் :—(*a*) முதலில் மின்காட்டியின் தட்டைக் கையால் தொடவும். இதனால் அக்கருவியில் ஏதேனும் மின்சுமை தங்கி இருப்பின் அது நமது உடலின் வழியாக வெளியேறிப் பூமிக்குள் சென்றுவிடும். ஒரு எபொனைட் குச்சியை சுமையேற்றி அதை மின்காட்டியின் தட்டினருகே கொண்டு வரவும். பொன்னிலைகள் விரிவடையும். எபொனைட்டிலுள்ள குறைச்சுமை தட்டின்மீது தனக்கு எதிரான ஒரு மிகைச்சுமையைத் தூண்டுகிறது. இதனால் பொன்னிலையின்மீது ஒரு குறைச்சுமை உண்டாகிறது. எனவே பொன்னிலைகள் விரிவடைகின்றன. (படம் 418). ஒரு கண்ணாடிக் குச்சியில் சுமையேற்றி இதைப் போன்றே செய்து பார்க்கலாம்.



படம் 418



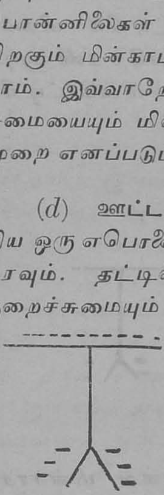
படம் 419

(*b*) இரு வகையான மின்சாரச்சுமைகள் உண்டென்பதைக் காட்டும் முறை வருமாறு :—சுமையேற்றிய எபொனைட் குச்சியைத் தட்டினருகே பிடித்துக் கொண்டு சுமையேற்றிய கண்ணாடிக் குச்சியையும்

அருகே கொண்டுவந்தால், பொன்னிலைகளின் விரிவு குறைவதைக் காணலாம். இவ்விரண்டு குச்சிகளின் நிலைகளையும் சரிப்படுத்திவைத்துப் பொன்னிலைகள் ஒன்றுசேர்ந்துவிடும்படி செய்யலாம். இதில் எபொனைட் குச்சியிலுள்ள சுமையின் விளைவைக் கண்ணாடிக் குச்சியிலுள்ள சுமையின் விளைவு மாற்றிவிடுகிறது. (படம் 419).

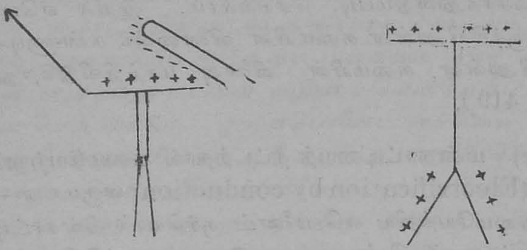
(*c*) மின்காட்டியைத் தீட்டத்தால் சுமையேற்றும் முறை (Electrification by conduction) வருமாறு:— ஒரு சுமையேற்றிய எபொனைட் குச்சியால் மின்காட்டியின் தட்டைத் தீண்டவும். இதனால் குச்சியிலுள்ள குறைச்சுமை மின்காட்டியில் பாய்ந்து பரவுகிறது; பொன்னிலைகள் விரிவடைகின்றன. குச்சியை நீக்கிய பிறகும் மின்காட்டியில் மின்சுமை நிற்பதைப் பார்க்கலாம். இவ்வாறே கண்ணாடிக் குச்சியில் ஏற்படும் மிகைச் சுமையையும் மின்காட்டியில் ஏற்றலாம். இது தீட்ட முறை எனப்படும். (படம் 420).

(*d*) ஊட்டத்தால் சுமையேற்றுதல் :—சுமையேற்றிய ஒரு எபொனைட் குச்சியைத் தட்டினருகே கொண்டுவரவும். தட்டில் மிகைச்சுமையும் பொன்னிலைகளில் குறைச்சுமையும் தூண்டப்படும். குச்சியை அதே நிலையில் வைத்துக்கொண்டு மற்றொரு கையால் தட்டைத் தொடவும். பொன்னிலைகள் குவிந்து விழுந்துவிடும். தட்டிலுள்ள மிகைச்சுமை எபொனைட் குச்சியிலுள்ள குறைச் சுமையால் பிணிக்கப்பட்டு ஓடாதுநிற்கிறது. ஆனால் பொன்னிலைகளில் உண்டாகிய குறைச்சுமையோ நமது உடலின் வழியாக வெளியேறிவிடுகிறது. இப்போது குச்சியை நீக்கி



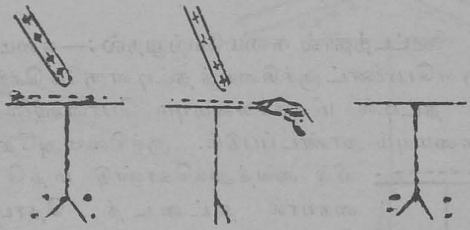
படம் 420

விடவும். பொன்னிலைகள் மறுபடியும் விரிவடையும். தட்டில் தேங்கி நின்ற மிகைச்சுமை கம்பியிலும் பொன்னிலைகளிலும் பரவியதால் இது ஏற்பட்டது.



படம் 421

(படம் 421). இப்போது மின்காட்டியில் மிகைச் சுமை யேற்றப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வாறே கண்ணாடிக் குச்சியினுதவியால் குறைச்சுமையையும் மின்காட்டியில் ஏற்றலாம்.



படம் 422

இவ்வாறு கண்ணாடிக் குச்சியிலுள்ள மின்சாரத் திற்கு எதிரான சுமையை மின்காட்டியில் ஏற்றும் இம் முறைக்கு ஊட்டமுறை என்ற பெயர். இது மிக சௌ கரியமான முறையாகும். தூண்டும் குச்சிக்கும் தட்டிற் கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை மாற்றுவதால் நமக்கு

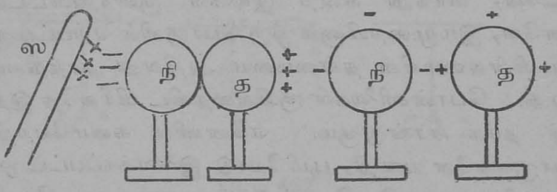
வேண்டிய அளவு மின்சுமையை மின்காட்டியில் ஏற்று வது சாத்தியமாகிறது.

(*e*) ஒரு மின்சுமையின் குறியைக் காணும் வகை:—இரண்டு மின்காட்டிகளை எடுத்து ஒன்றில் மிகைச்சுமையையும் மற்றொன்றில் குறைச்சுமையையும் ஏற்றவும். இதைத் தீட்ட முறையிலோ அல்லது ஊட்ட முறையிலோ செய்யலாம். சுமையேற்றிய ஒரு மூன்று வது பொருளை அவற்றில் ஒவ்வொன்றினருகே கொண்டு செல்லவும். முதல் மின்காட்டியில் இலைகள் விரிவ தாயும், இரண்டாவதில் இலைகள் குவிவதாயும் கொள் வோம். இதனால் நாம் கொண்டுவந்த மூன்றுவது பொருளின்மீது மிகைச்சுமை ஏறி இருப்பதாகத் தெரி கிறது. அதிலிருந்த மிகைச்சுமை, தனக்கருகே தட் டில் குறைச்சுமையை இழுத்துப் பிணித்துப் பின்னும் மிகைச்சுமையை இலைகளிலே தள்ளிற்று. இதனால் முன்பே விரிந்திருந்த இலைகள் பின்னும் விரிவடைந்தன. இரண்டாவது மின்காட்டியினருகே கொண்டுபோன போதும், இவ்வாறே மிகைச்சுமையை இலைகளிலே தள்ள, அது அங்குள்ள குறைச்சுமையைக் குறைத்து விடவே, விரிந்து நின்ற இலைகள் குவிந்துவிட்டன. எனவே, இம்முறையினால் ஒரு பொருளில் ஏற்பட்டிருக் கும் மின்சுமையின் தன்மையை அறிவது சாத்தியமா கிறது. பொன்னிலைகள் குவிவதைவிட விரிவதே இதற் குத் தக்க சான்றாகும். ஏனெனில் சுமையேற்றிய பொருள்களே யன்றி, பூமியோடு இணைக்கப்பட்ட ஒரு உகைவியை அருகே கொண்டுவந்தாலும், சுமையேறிய மின்காட்டியின் இலைகள் குவிவதைக் காணலாம். எனவே, இச்சோதனைக்கு எதிரான சுமைகள் ஏற்றப் பட்ட இரண்டு மின்காட்டிகள் தேவையாயிருக்கின்றன.

(*f*) இருவகையான மின்சுமைகளும் ஒரே சமயத் தில் உண்டாகின்றன:—ஒரு எபொனைட் குச்சியின்

மீது ஒரு சிறு கம்பளி உறையை இட்டு, அவ்வுறையோடு ஒரு கெட்டியான பட்டுநூலைக் கட்டவும். பட்டு நூலை உறையின்மீது சுற்றி, அதன் நுனியை ஒரு கையாலும், எபொனைட் குச்சியை ஒரு கையாலும் பிடித்து இழுக்கக் கம்பளி உறை சுழன்று,கழன்றுவிடும். எபொனைட் குச்சியையும் உறையையும் சேர்த்து ஒரு மின்காட்டியின் அருகே கொண்டுபோனால், மின்காட்டியில் ஒரு மாறுதலும் ஏற்படாது. குச்சியையோ அல்லது உறையையோ நீக்கிவிட்டு கொண்டுபோனால் பொன்னிலைகள் விரிவடையும். இவை யிரண்டையும் தனித்தனியாய்ச் சோதித்துப் பார்த்தால் குச்சியிலே குறைச்சுமையும், உறையிலே மிகச்சுமையும் இருப்பது தெரியவரும். சாமானியமாய் நாம் எபொனைட் குச்சிக்குச் சுமையேற்றும்போது கம்பளித் துணியில் உண்டாகும் மிகைச்சுமை நமது உடலின் வழியாகப் பூமிக்குள் சென்றுவிடுகிறது.

(*g*) ஊட்டத்தாலும் இருவகை மின்சுமைகளும் ஒரே சமயத்தில் ஏற்படுகின்றன என்பதைக் காட்ட:—



படம் 423

(படம் 423). மிகச்சுமை யேற்றப்பட்ட ஸ என்னும் ஒரு குச்சியை, உறையிட்ட இரண்டு உலோகக் குண்டுகளுக்கருகே கொண்டுவரவும். நி, த என்னும் இரண்டு

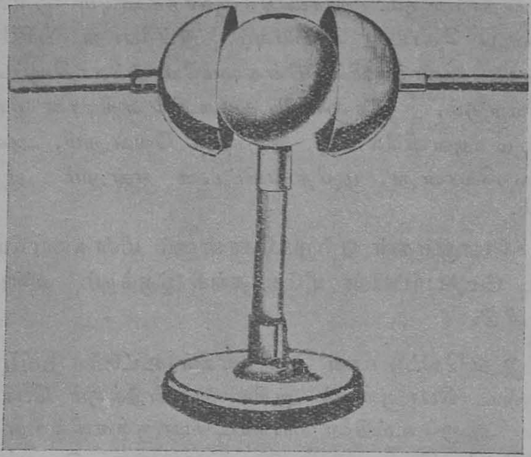
குண்டுகளும் தொட்டுக்கொண்டிருக்கவேண்டும். நி, த-க்களைப் பிரித்துவிட்டு ஸ-வை நீக்கிவிடவும். நி-யில் குறைச்சுமையும் த-வில் மிகைச்சுமையும் ஏறியிருப்பது தெரியவரும். இரண்டு குண்டுகளையும் ஒன்றையொன்று தொடச் செய்யவும். இப்போது பரிசோதித்தால் குண்டுகளில் மின்சுமையே இல்லாதிருப்பது தெரியவரும். இதனால் நி, த-க்களில் எதிரான சுமைகள் சம அளவிலே ஏறி இருந்தன வென்றும், அவை ஒன்றையொன்று முறித்துவிட்டன என்றும் அறிகிறோம்.

'பொருள்கள் ஏற்றுக்கொள்ளும் மின்சுமையெல்லாம் மேற்பரப்பின் மீதே தங்கி இருக்கும்' என்பது ஒரு விதி.

இது கெட்டியான பொருள்கள், உட்டுளை (hollow) கொண்ட பொருள்கள் ஆகிய இரண்டுக்கும் பொருந்தும். ஆனால் உட்டுளை கொண்ட பொருள்களில் உள்ளே சுமையேற்ற பொருள்கள் இருத்தலாகாது. இதைப் பல பரிசோதனைகளால் காட்டலாம். இவற்றில் 'சோதனைத் துடுப்பு' (Proof plane) என்னும் ஒரு கருவி பெரிதும் பயன்படும். இது ஒரு கைப்பிடிகொண்ட சிறு மெல்லிய உலோகத்தட்டு ஆகும். இது காலணா அளவு இருக்கும். இதன் கைப்பிடி எபொனைட்டால் ஆனது.

1. ஒரு சிறு உலோகக் குவளையை ஓர் உகையாப் பொருளின்மீது வைக்கவும். குவளையின்மீது சுமையேற்றவும். சோதனைத் துடுப்பால் குவளையின் உட்புறத்தைத் தொட்டு மின்காட்டியால் பரிசோதிக்கவும். அதில் ஏதும் மின்சுமை இல்லையென்பது விளங்கும். மறுபடியும் குவளையின் வெளிப்புறத்தைத் துடுப்பால் தொட்டுத் துடுப்பைப் பரிசோதிக்க அது சுமை ஏற்றியிருப்பது விளங்கும்.

2. ஸ என்பது உறையிட்ட ஒரு பித்தளைப் பந்து. நி, த என்பன இரண்டு அரைக்கோள வடிவமான மூடி

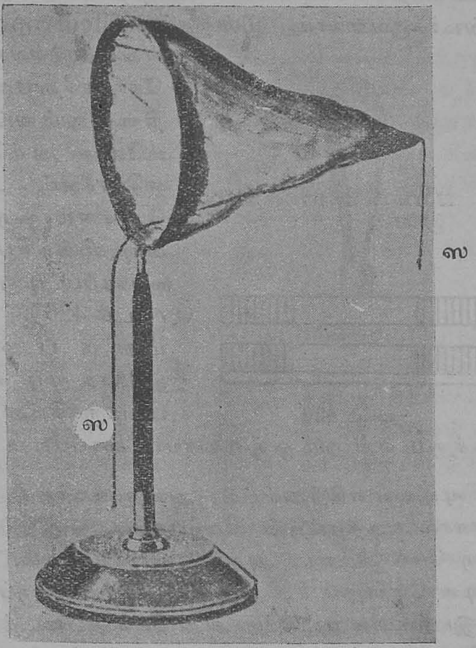


படம் **424**

கள் (படம் 424). இவற்றிற்கு உகையாக் கைப்பிடிகள் உண்டு. இம்மூடிகள் ஸ-வின்மீது பொருந்தும்படி மூடி விடலாம். ஸ-வின்மீது சுமையேற்றவும். நி, த-க்களை அதன்மீது மூடவும். பிறகு மூடிகளை நீக்கிவிட்டுப் பார்த்தால் ஸ-வில் சுமையே இராது. நி, த-க்களின் வெளிப்பரப்புகளில் மின்சுமை ஏறியிருக்கும்.

3. (படம் 425)இல் கண்டிருப்பது பாரடேயின் வண்ணாத்திப்பூச்சி வலை (Faraday's butterfly net) என்னும் பரிசோதனை. கூருருளை வடிவான பட்டு வலை ஒரு உகையாத் தாங்குகாலின்மீது ஏற்றப்பட்டிருக்கிறது. ஸ, ஸ என்னும் பட்டு நூலால் இந்த வலையை உட்புறம் வெளிப்புறமாக மாற்றிவிடலாம்.

இதன்மீது மின்சுமை ஏற்றினல், வெளிப்புறத்தில் சுமை தங்கி நிற்பதாகவும் உட்புறம் சுமையின்றி இருப்பதாக வும், ஒரு சோதனைத் துடுப்பு, மின்காட்டி இவற்றின் உதவியால் காட்டலாம். வலையை உட்புறம் வெளிப்புற

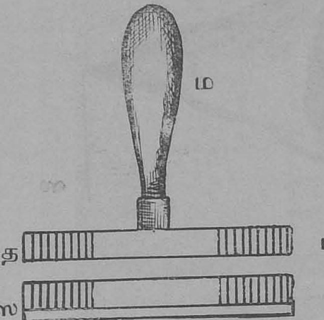


படம் 425

மாக மாற்றிய பிறகும் புதிய வெளிப்புறத்திலேயே மின் சுமை தங்கி நிற்கிறது என்றும் காட்டலாம்.

மின்சுமை இயந்திரங்கள் (Electrical machines):—கண்ணடிக் குச்சியையும் எபொனைட் குச்சியை

யும் தக்க பொருள்களோடு தேய்ப்பதால், நமக்கு வெகு சிறு அளவான மின்சாரமே கிடைக்கிறது. மிகுந்த அளவில் மின்சாரம் உண்டாக்க ஏற்பட்ட சாதனமே மின்சுமை யந்திரம் எனப்படும். தற்காலத்திய மின் சுமை யந்திரங்களெல்லாம் ஊட்டத்தால் மின்சாரத்தை உண்டாக்குவனவாம். மின்னூற்று(Electrophorous) என்பதுஇவ்வகையைச் சேர்ந்ததேயாகும். ஸ நி என்னும் வட்டமான உலோக அச்சினுள் எபொனைட் அல்லது ரோசனம் ஒரு தட்டு வடிவில் பொருத்தி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 426). இதன் மீது த ப என்னும் உலோக மூடி வைக்கப் பட்டிருக்கிறது. இம் மூடிக்கு ம என்னும் ஒரு உகையாக் கைப்பிடி உண்டு.



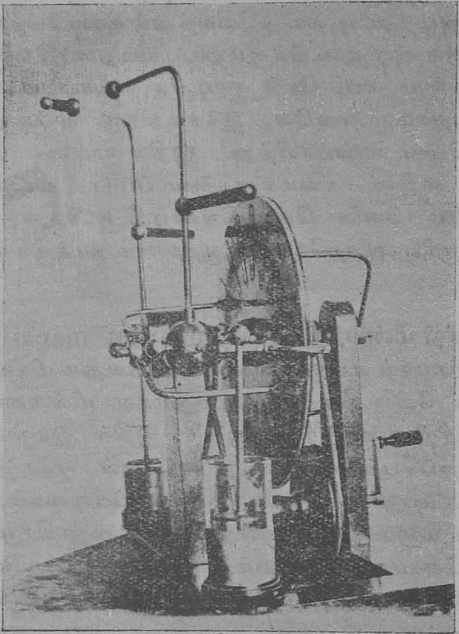
படம் 426

மூடியை எடுத்துவிட்டு, அதை உலர்த்தி, பூனைத் தோலால் அடித்தட்டின் மேற்புறத்தைத் தேய்க்கவும். பிறகு மேல் தட்டை அதன்மீது வைக்கவும். அடித் தட்டின் மேற்புறம் சிறிது கரடுமுரடாய் இருப்பதால், சில இடங்களில் மட்டுமே அது மேல் தட்டைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும். இதனால் அடித்தட்டில் ஏற்பட்ட குறைமின்சுமை மேல் மூடியில் சிறிதே பரவும். ஆனால் ஊட்டத்தால் மேல் மூடியின் அடிப்புறத்தில் மிகைமின் சுமை அதிகமாய் உண்டாகும். மூடியின் மேற்புறத்தில் குறைமின்சுமை தள்ளப்படும். இப்போது நாம் அந்த மேல்புறத்தைத் தொட்டால் குறைச்சுமை நமது உடலின் வழியாகப் பூமிக்குள் சென்றுவிடும். கைப்பிடி

யால் மேல் தட்டைத் தூக்க அதில் மிகைச்சுமை மட்டுமே மிகுந்து நிற்கும். இப்போது நமது கை விரலை மேல் மூடியின் அருகே கொண்டுவந்தால் ஒரு பொறி பாய்வது தெரியவரும். மேல் மூடியைத் தொட்டு, அதன் சுமையை இறக்கிவிட்டு, மறுபடியும் முன்போலவே அதை அடித்தட்டின்மீது வைத்துச் சுமையேற்றலாம். இவ்வாறாக அடித்தட்டுக்கு மறுபடியும் சுமையேற்றாமல், பன்முறையும் நாம் மேல் மூடியில் சுமையை ஏற்றுக் கொள்ளலாம். எனவே, இக்கருவிக்கு 'மின்னூற்று' எனப் பெயர் உண்டாயிற்று. இதில் மூடியை நீக்கும் போது எதிர்ச் சுமைகளுக்கிடைப்பட்ட கவர்ச்சியை மீறி நாம் வேலை செய்யவேண்டியிருக்கிறது. இவ் வேலைக்குரிய ஆற்றலே மின்ஆற்றலாக நமக்குக் கிடைக்கிறது.

விசிறி மின்யந்திரம் (Wimshurst machine) :— சாமானியமாய் எங்கும் கையாளப்படுவதும் மிகவும் திறமையாக வேலை செய்யக்கூடியதுமான மின்சுமையந்திரம் 'விசிறி மின்யந்திரமாகும்'. இதில் இரண்டு வார்னிஷ் பூசப்பெற்ற கண்ணுடித் தட்டுகள் ஒரே இருசில் ஏற்றப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரு கைப்பிடியைப் பிடித்துச் சுற்றினால் இவை ஒன்றுக்கொன்று எதிர்முகமாய் வெகு வேகமாகச் சுழலும். சிறு தகரப் பட்டைகள் இவற்றின் வெளிப்புறத்தில் (படம் 427) இல் கண்டவாறு ஒட்டப்பட்டிருக்கின்றன. குதிரை லாட வடிவான இரண்டு உகைவிகள் அவற்றில் பொருத்தப்பட்டுள்ள கூரிய முனைகளால் தகரப்பட்டைகளில் இருந்து, ஒரு புறத்தில் மிகைமின்சாரத்தையும் மற்றொரு புறத்தில் குறைமின் சாரத்தையும் ஏற்று, சிறு சங்கிலிகளின் மூலமாய் 'லேய்டன் வாளி' (Leyden jars) களுக்கு அவற்றை அனுப்புகின்றன. குறுக்கே விட்டவடிவமாகச் செல்லும் ஒரு உகைவியின் இரு முனைகளிலும்,

சிறு தூரிகைகள் இருக்கின்றன. இத்தூரிகைகள் தகரப்பட்டைகளின்மீது உராய்கின்றன. இதைப்போலவே மற்றொரு புறத்திலும் ஒரு விட்டவடிவான உகைவி உண்டு. இக்கருவியின் முன்புறத்தில் பொறிக்குமிழ்கள்



படம் 427

இருக்கின்றன. இவற்றிற்கு இடைப்பட்ட தூரத்தை இவற்றோடு இணைக்கப்பட்ட உகைவியாகக் கைப்பிடிகளால் சரிப்படுத்தலாம். இந்தக் கருவியை வேகமாகச் சுற்றிப் பொறிக்குமிழ்களை நெருக்கிக்கொண்டு வந்தால், சிறிய சப்தத்தோடு பொறியும் உண்டாகும். இவ்வாறு

உண்டாகும் மின்பாய்ச்சல் சிறிய அளவிலே இடி மின்னலை ஒத்திருக்கும்.

மின்சாரச் சுமைகளின் இடைப்பட்ட சக்தி விதிகள் :—ஒரே வகை மின்சுமைகள் ஒன்றையொன்று விலக்குகின்றன, எதிர் வகை மின்சுமைகள் ஒன்றையொன்று கவர்கின்றன என்று கண்டோம். இரண்டு மின்சுமைகளுக்கிடைப்பட்ட சக்தி அவற்றினிடைத் தூரத்தின் வருக்கத்தோடு எதிர் விகிதத்தில் மாறுவதாக காவேண்டிஷ் (Cavendish), மாக்ஸ்வெல் (Maxwell) என்னும் அறிஞர்கள் காட்டியிருக்கிறார்கள். மற்றும் இச்சக்தியின் அளவு சுமைகளின் அளவையும், அவை நிற்கும் யானத்தின் தன்மையையும் சார்ந்திருக்கிறது. இரண்டு சுமைகளின் அளவு q_1, q_2 ஆகவும், அவற்றினிடைத்தூரம் d ஆகவும் இருந்தால், அவற்றினிடைப்பட்ட சக்தியின் அளவு $F = \frac{1}{k}\frac{q_1 q_2}{d^2}$ என்னும் வாய்பாட்டால் பெறப்படும். காந்தவியலில் போலவே இங்கேயும், 'k' என்பது நடுவிலுள்ள யானத்தின் தன்மையைச் சார்ந்துள்ள ஒரு மாறிலி. இதை மின்னுழைவுப் பான்மை (Di-electric Constant) என்று சொல்லுவார்கள். மின்சாரத்தை அளவிடும் அலகு மேற்கண்ட உறவிலிருந்து பெறப்பட்டது.

'ஒரு அலகு மின்சாரமென்பது, தன்னை யொத்த அளவும் தன்மையும் வாய்ந்த மற்றொரு மின்சுமையை, ஒரு சேன்டிமீட்டர் தூரத்தில் வைத்தபோது, அதையோரு டைன் அளவுள்ள சக்தியோடு விலக்குவது' ஆகும். இவ்விரண்டு சுமைகளும் காற்றிலே வைக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும்.

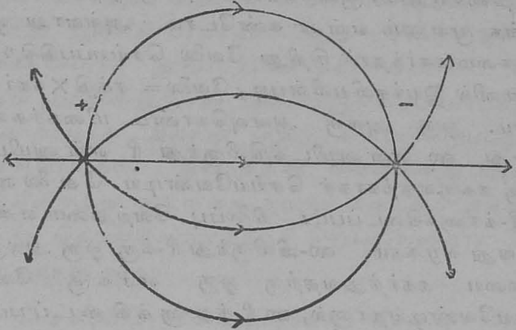
$F = \frac{1}{k}\frac{q_1 q_2}{d^2}$ என்னும் இணைவிலே $q_1 = q_2$; $d=1$, $k = 1$ என்று கொண்டால், $q_1 = q_2 = 1$ என்று ஆகும்.

இதுவே மின்சாரத்தின் அலகு கொள்ளப்பட்ட முறையாம். காற்றுக்கு $k = 1$ என்றும் கொள்ளப்பட்டது. மற்ற யானங்களுக்கு இதன் மதிப்பு வேறுபடும். இவ்வாறு கொள்ளப்பட்ட மின்சார அலகு மின்னிலையியல் அலகு (Electrostatic unit) எனப்படும். மின்னருவியியலில் கூறப்படும் மின்சார அலகு வேறும்.

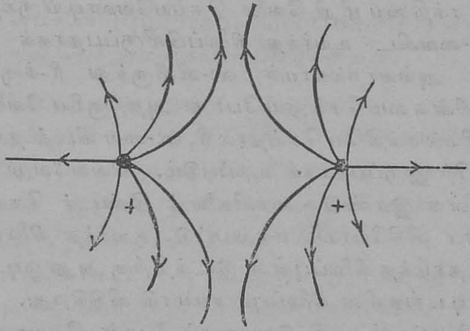
மின்புலத்தின் உறைப்பு (Intensity of electric field):—ஒரு மின்சாரச் சுமையின் அருகே அதனுடைய மின்னியல் விளைவுகள் தோற்றமளிக்கும் இடமெல்லாம் மின்புலம் எனப்படும். ஓரிடத்தில் ஒரு அலகு அளவுள்ள மிகைச்சுமையை வைத்தவிடத்து அதன்மீது ஒரு டைன் அளவுள்ள சக்தி தொழிற்பட்டால், அவ்விடத்திலே மின்புலத்தின் உறைப்பு அல்லது பலம் ஒரு அலகு அளவுள்ளதாகக் கூறப்படும். ஓரிடத்தில் மின்புலத்தின் பலம் F அலகுகள் ஆயின், அவ்விடத்தில் வைக்கப்பட்ட q அலகுகள் கொண்ட மின்சுமையின் மீது, F q டைன் அளவுள்ள சக்தி தொழிற்படும்.

மின்புலத்திலுள்ள சக்திவரைகள் :—காந்தப் புலத்தை வரையிட்டுக் காட்டியது போலவே மின்புலத்தையும் காட்டலாமாயினும் அதைச் செய்வது சிறிது கடினமானது. (படம் 428 (1))இல் வேறுவகைப் பட்டதும் ஆனல் ஒரே அளவுள்ளதுமான இரண்டு சுமைகளுக்கு இடையில் ஏற்படும் மின்னியல் சக்திவரைகள் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. அடுத்த படத்தில் (படம் 428 (2)) ஒரே வகையும் ஒரே அளவுள்ளதுமான இருசுமைகளின் புலவரைகள் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. அவற்றிலுள்ள அம்புக் குறிகள் இவ்வரைகளின் மிகைத் திசையைக் காட்டுகின்றன. அதாவது ஒரு மிகைச் சுமையினது இயங்கக்கூடிய திசைகளைக் காட்டுகின்றன. இவ்வரைகளெல்லாம் மிகைச்சுமையிலிருந்து கிளம்பி

குறைச்சுமையில் முடிவதைக் காணலாம். காந்தப்புல வரைகளைப் போலவே இவையும் ரப்பர் கட்டுகளை ஒப்ப,



படம் 428 (1)



படம் 428 (2)

நீளவாட்டத்தில் சுருங்கிப் பக்கவாட்டத்தில் விரிய முயலுகின்றன. கவர்தல், விலக்குதல் ஆகிய எல்லா நிகழ்ச்சிகளும் இவ்வியல்பைக் கொண்டே விளக்கப்படுகின்றன.

நிலைப்பு (Potential):—ஓரிடத்தில் மின்புலம் இருந்தால் அவ்விடத்தில் வைக்கப்பட்ட மிகைச்சுமை ஒரு திசையிலும், குறைச்சுமை மற்றொரு திசையிலும் இயங்க முயலும் என்று கண்டோம். அவ்வாறு ஒரு மின்சுமை நகர்ந்தால் சிறிது வேலை செய்யப்படுகிறது. ஏனெனில் இயக்கவியலின்படி, வேலை = சக்தி × நகர்ந்த தூரம். ஒரு அலகு அளவுகொண்ட மிகைச்சுமையானது, ஸ என்னுமிடத்திலிருந்து ரி என்னுமிடத்திற்கு நகருவதற்காகச் செய்யவேண்டிய வேலையை ஸ, ரி-க்களுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமை என்று கூறுவது வழக்கம். ஸ-விலிருந்து ரி-க்கு ஒரு அலகுச் சுமையை நகர்த்துவதற்கு ஒரு எர்க்கு வேலை செய்யவேண்டியதானால், ஸ ரி-க்களுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமை ஒரு அலகு ஆகும். ஸ-விலிருந்து ரி-க்கு ஒரு மிகைச்சுமை நகர்ந்து போகும்போது மின்னியல் சக்தியை மீறி வேலை செய்யவேண்டியிருந்தால், ரி, ஸ-வைவிட உயர்ந்த நிலைப்பிலிருப்பதாகக் கூறப்படும். அவ்வாறல்லாமல் ஸ-விலிருந்து ரி-க்கு ஒரு மிகைமின்சுமை செல்லும்போது அதற்குரிய வேலையை மின்னியல் சக்தியே செய்தால் ரி, ஸ-வை விடத் தாழ்ந்த நிலைப்பில் இருப்பதாகக் கூறப்படும். வெவ்வேறு நிலைப்பில் உள்ள இரண்டு உகைவிகளைத் தீண்டச் செய்தால் மின்சார விநியோகம் மாறுபட்டு, உயர்ந்த நிலைப்பிலிருந்து தாழ்ந்த நிலைப்புள்ள இடத்திற்கு அது ஓடிவந்து இரண்டிடங்களின் நிலைப்பும் சமமாகி விடுகிறது. இதுவும் நீர் மட்டம், சூடு இவற்றைப் போன்றதேயாகும்.

சூட்டை அளக்கும்போது, பனியிளகுநிலை போன்ற கட்டளைச் சூடுகளிலிருந்து கணக்கிடுவது போலவும், மலைகளின் உயரத்தைக் கடல் மட்டத்திலிருந்து கணக்கிடுவது போலவும், மின்னியல் நிலைப்புகளையும் பூமியின் நிலைப்பு மட்டத்திலிருந்தே கணக்கிடுவது வழக்கம்.

அதாவது பூமியின் நிலைப்பு சூனியமென்று கொள்ளப் படும். ஒரு பொருளைப் பூமியோடு உலைவுப் பிணைப் பினல் சேர்த்தபோது, மின்சாரம் அப்பொருளில் இருந்து பூமியில் பாய்ந்தால் அது உயர்ந்த அல்லது மிகைநிலைப்பில் இருப்பதாகக் கொள்ளப்படும். மின் சாரம் பூமியில் இருந்து அப்பொருளுக்குப் பாய்ந்தால் அது தாழ்ந்த அல்லது குறை நிலைப்பிலிருப்பதாகக் கொள்ளப்படும். ஓரிடத்தின் நிலைப்பினது அளவு, பூமியிலிருந்து ஒரு மிகை அலகுச் சுமையை அவ்விடத் திற்குக் கொண்டுவருவதற்குச் செய்யவேண்டிய வேலை யின் அளவு ஆகும்.

பொன்னிலை மின்காட்டியால் நிலைப்பு வேற்று மையை ஒருவாறு தோராயமாக அளக்கலாம். அதைப் பல வழிகளில் திருத்தமாக அளக்கலாம். அவைகளில் பாதமின்மானி (quadrant Electrometer) என்னும் ஒரு கருவி பெரிதும் கையாளப்படுகின்றது.

நிலைப்பு வேற்றுமை அலகுகளும் அவற்றின் உறவுகளும் :— $+q$ என்ற மின்சுமையினின்று முறையே r_1 r_2 என்ற தூரங்களிலே P,Q என்ற இரண்டு புள்ளிகள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். P-யின் நிலைப்பை V_p என்றும், Q-வின் நிலைப்பை V_q என்றும் குறிப்பிடுவோம். $r_1 < r_2$ ஆனல், ஒரு அலகு மிகைச் சுமையை Q-விலிருந்து P-க்குக் கொண்டுவர வேண்டு மானல், V_p-V_q என்ற வேலையை நாம் செய்யவேண்டி யிருக்கும். இந்த (V_p-V_q) என்ற இராசியே P, Q-க் களின் நிலைப்பு வேற்றுமை எனப்படும். நிலைப்புகளை வேலையலகினல் குறிப்பிடுவதனல், நிலைப்பு வேற்றுமை யும் இந்த வேலையலகை யுட்கொண்டே இருக்கவேண் டும்.

பொதுவாக P, Q என்ற இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே ஒரு அலகு மின்சுமையைக் கொண்டு செல்வதற்காக ஒரு அலகு வேலை செய்யவேண்டியிருந்தால், P, Q-க்களின் நிலைப்பு வேற்றுமை ஒரு அலகு கொண்டது எனப்படும்.

சே. கி. சே. அலகுகள் :—நிலைப்பு வேற்றுமை அலகுகளிலே மின்னிலையியல் அலகு என்றும், மின்காந்தவியல் அலகு என்றும் இரண்டு வகையுண்டு.

P, Q-க்களினிடையே ஒரு மின்னிலையியல் அலகு கொண்ட மின்சுமையைக் கொண்டு செல்வதற்காகச் செய்யவேண்டிய வேலை ஒரு எர்க்கு ஆனால் P, Q-க்களின் நிலைப்பு வேற்றுமை ஒரு மின்னிலையியல் அலகு கொண்டது எனப்படும். P, Q-க்களினிடையே ஒரு மின்காந்தவியல் அலகுகொண்ட மின்சுமையைக் கொண்டு செல்வதற்காகச் செய்யவேண்டிய வேலை ஒரு எர்க்கு ஆனால் P, Q-க்களின் நிலைப்பு வேற்றுமை ஒரு மின்காந்தவியல் அலகுகொண்டது எனப்படும். நிற்க,

1 மின்காந்தவியல் அலகுச்சுமை

$= 3 \times 10^{10}$ மின்னிலையியல் அலகுச்சுமை.

என்று கண்டிருக்கிறார்கள். எனவே,

1 மின்னிலையியல் அலகு நி. வே.

$= 3 \times 10^{10}$ மின்காந்தவியல் நி. வே. ஆகும்.

பிரயோக-அலகு (Practical unit) :—மின்காந்தவியல் நிலைப்பு வேற்றுமை அலகு மிகச் சிறியதாய் இருப்பதால், அதைப் போல 10^8 மடங்கு கொண்டதொரு பிரயோக அலகு கையாளப்படுகிறது. இது ‘ ஓல்ட் ’ (Volt) எனப்படும்.

P, Q-க்களினிடையே ஒரு 'கூலம்' கொண்ட மின் சுமையைக் கொண்டு செல்வதற்காகச் செய்யவேண்டிய வேலை ஒரு 'ஜூல்' ஆனால் P, Q-க்களின் நிலைப்பு வேற்றுமை ஒரு 'ஓல்ட்' கொண்டது எனப்படும்.

எனவே, ஒரு மின்னிலையியல் நிலைப்பு வேற்றுமை யலகு 300 'ஓல்ட்' கொண்டதாகும். நிலைப்பு வேற்றுமை யலகுகளின் உறவுகளைச் சுருக்கிக் கூறவேண்டு மானல்,

1 மின்காந்தவியல் நிலைப்பு வேற்றுமை-யலகு

$$= \frac{1}{10^8} \text{ 'ஓல்ட்'}$$

1 மின்னிலையியல் நிலைப்பு வேற்றுமை யலகு.

$$= 3 \times 10^2 \text{ 'ஓல்ட்'}$$ என்று சொல்லலாம்.

மின்னலும் இடியும்:—பவனத்திலேற்படும் சில மாறுபாடுகளினாலே, அதிலும் முக்கியமாக சூடு மாறுபாட்டினாலே, காற்று நிரைகள் பவனத்திலே மேலெழுவதால், மேகங்களிலே பெரிய நிலையியல் மின்சாரத் தேக்கங்கள் அடிக்கடி ஏற்படுகின்றன. ஒரு பெரிய மேகம் குறைமின்சாரத்தால் நிரம்பி இருப்பதாகக் கொள்வோம். இதன் ஊட்டத்தால் அடுத்துள்ள மேகங்களிலும் பூமியின் பகுதிகளிலும் மிகைமின்சாரத் தேக்கங்கள் ஏற்படுகின்றன. பூமியின் மீதுள்ள பொருள்களிலும் இந்த மின்சாரச்சுமை யேற்றம் உண்டாகிறது. எதிரான சுமையேறியுள்ள மேகங்கள் நெருங்கி வரும்போது மின்சாரப்|பாய்ச்சல் உண்டாகிறது. இம் மின்சாரப் பாய்ச்சலினால் வெளிப்படும் ஒலியாற்றலும், ஒளியாற்றலுமே இடியும் மின்னலுமாகத் தோன்றுகின்றன. இதுவே சாமானியமாய் நிகழ்வது. ஆனால் சில சமயங்களிலே, ஒரு மேகத்திற்கும் அதற்கு எதி

ராகச் சுமையேறி நிற்கும் பூமியின் பகுதிக்கும் இடை யிலும் மின்சாரப் பாய்ச்சல் நிகழ்கிறது. உயர்ந்த மரங்கள், கோபுரங்கள், கட்டிடங்கள் முதலிய பொருள்களே மற்ற பொருள்களைவிட மேகங்களுக்கு அருகே இருப்பதால், மின்சாரப் பாய்ச்சல் நீச நிலைத் தகைவு மார்க்கத்தை (Path of least resistance) மேற்கொண்டு இவற்றை வந்தடையும். இம் மின்சாரப் பாய்ச்சலையே நாம் இடி விழுதல் என்று சொல்லுகிறோம். இதற்கு அருகே தற்செயலாய் இருக்க நேர்ந்த மக்களுக்கும் மிருகங்களுக்கும் இதனுல் விபத்து கள் நேரிடும். ஆகையால் இடி, மின்னல் முதலியவை நிகழும்போது, உயர்ந்த மரங்கள், கட்டிடங்கள் முதலிய வற்றின் அருகிலே நிற்கக்கூடாது. இவ்வாறே தண் ணீர் தேங்கி நிற்கும் குளம் குட்டைகளுக்கு அருகிலும் இருக்கக்கூடாது. பூமியிலே ஈரமில்லாதிருக்கும் குகை, குழி முதலியவைகள் மிகவும் பாதுகாப்புள்ள இடங்களாகும். கட்டிடங்களினுள்ளிருப்பதும் நலமே யாகும். ஆனுல் இடிவிழுவதால் கட்டிடம் தாங்கமுடி யாமல் இடிந்து விழக்கூடும். ஒரு பெரிய உலோகப் பெட்டியினுள்ளே ஒரு நுணுக்கமான மின்மானியுடன் 'பாரடே' புகுந்து, பெட்டியின் புறத்திலேற்பட்ட மின் னியல் மாறுபாடுகளினுல் பெட்டியினுள்ளிருக்கும் மின் மானி பாதிக்கப்படவில்லை என்று காட்டினுர்.

மின்சாரம் கூரிய முனைகளிலே சென்று தேங்கும் இயல்புடையது. இவ்வாறு ஓரிடத்திலே சேர்ந்த மின் சாரத்தின் நிலைப்பு உயர்ந்துவிடுவதால், அதனருகே வரும் காற்றுத் துகள்கள் எளிதிலே மின்சார மேற்றுத் துரத்தப்படுகின்றன. பின்னும் வேறு துகள்கள் வந்து அங்கே கூட, அவையும் மின்சுமையேற்று ஓடு கின்றன. இவ்வாறுக அந்த முனையிலே தேங்கிநின்ற மின்சாரமெல்லாம் ஒழுகிவிடுகிறது. இதே தத்துவத்

தைக் கொண்டுதான் உயர்ந்த கட்டிடங்களிலே 'இடி தாங்கிகள்' வைக்கப்படுகின்றன. இடிதாங்கி என்பது நீண்ட உலோகச் சட்டமாகும். இதன் முனையிலே பல சிறு ஊசி போன்ற முள்கள் மேனேக்கி நீட்டிக்கொண்டிருக்கும். இச்சட்டம் கட்டிடங்களின் உச்சியிலே செங்குத்தாக நிறுத்தப்படும். இவற்றோடு பிணைக்கப்பட்ட செப்புக்கம்பியின் மற்றொரு முனை, பூமியினடியில் ஈரமுள்ள இடத்திலே புதைக்கப்பட்டிருக்கும்.

மின்சுமை யேறிய மேகங்கள் ஆகாயத்திலே தவழ்ந்து செல்லும்போது, அதற்கு எதிரான மின்சாரம் பூமியிலிருந்து கம்பி வழியாக மேலேறி, இடிதாங்கியின் நுனியிலுள்ள முள்முனைகளின் வழியாக ஆகாயத்திலே ஒழுகிச்சென்று மேகத்தை யடைந்து, அதன் சுமையைத் துலைப்படுத்தும். இதையும் மிஞ்சி மின்பாய்ச்சலாகிய இடிவிழுந்தால் அம்மின்சாரச்சுமை இடிதாங்கியிலே புகுந்து, கம்பி வழியாகக் கட்டிடத்திற்கும் மற்றும் அருகிலுள்ள பொருள்களுக்கும் யாதொரு தீங்குமிழைக்காமல் பூமியைச் சென்றடைந்து விடும்.

காற்றின் தகைவியல்பு (Resistance) அதிகமாகையால், இத்தகைய மின்பாய்ச்சல்கள் ஏற்படுவதற்கு மிக உயர்ந்த நிலைப்பு வேண்டும். அதாவது நிலைப்பு வேற்றுமை கோடிக் கணக்கான 'ஓல்ட்' கொண்டதாக இருக்கவேண்டும். மின் பொறியந்திரத்திலே தோன்றுவது போல, இந்த மின்பாய்ச்சலும் நீசநிலைத் தகைவு மார்க்கத்தைக் கடைப்பிடித்து நெளிந்து செல்லுமியல்புடையது.

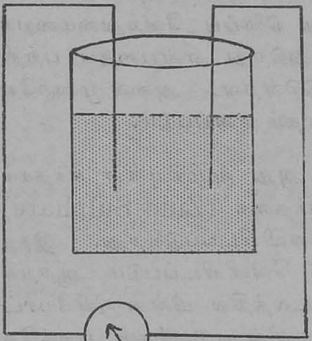
அத்தியாயம் 2

மின்சார அருவி (Current Electricity)

ஓரிடத்திலிருந்து மற்ருெரு இடத்திற்கு மின்சாரம் ஓடுவதே மின்னருவி எனப்படும். இந்த ஓட்டம் எவ்வாறு ஏற்படுகிறது? இதைப் போன்ற வேறு சிலவற்றை எடுத்துக்கூறி அவற்றின் உபமிதியால் (analogy) இதை நாம் எளிதாக அறியலாம். தண்ணீர் ஓரிடத்திலிருந்து மற்ருேரிடத்திற்கு ஓடுவதை நாமெல்லோரும் அறிவோம். தண்ணீர் மேல் மட்டத்திலிருந்து தாழ்ந்த மட்டத்திற்கு ஓடிவருகிறது. இந்த மட்ட வேற்றுமை இருக்கும்வரை ஓட்டமும் நிலேத்து இருக்கிறது. அப்படியே வெப்பமும் உயர்ந்த சூடுள்ள இடத்திலிருந்து தாழ்ந்த சூடுள்ள இடத்திற்குப் பரவுகிறது. தண்ணீர், வெப்பம் ஆகிய இவற்றைப் போலவே மின்சாரமும் ஓரிடத்திலிருந்து மற்ருேரிடத்திற்குச் செல்லுவதற்கு ஒரு மின்சார மட்டவேற்றுமை அவசியமாகிறது. இந்த மின்சார மட்டவேற்றுமையே நிலேப்பு வேற்றுமை (Potential difference) எனப்படும். மின்னருவி உயர்ந்த நிலேப்பிலிருக்கும் ஒரு பொருளிலிருந்து, தாழ்ந்த நிலேப்பில் இருக்கும் மற்ருெரு பொருளினிடத்து ஓடுகிறது. நிலேப்புச் சமநிலேமை ஏற்பட்டவுடன் ஓட்டம் நின்றுவிடுகிறது. அருவியோட்டம் சிறிது காலந்தான் நிகழ்கிறது. வெவ்வேறு நிலேப்புகளுக்கு மின்சுமை யேற்றிய (Charged) உறையிட்ட (Insulated) இரண்டு பொருள்களே, ஓர் உகைவியால் (Conductor) இணேத்தால் இவ்வாறே நிகழ்கிறது. அவற்றின் நிலேப்பு வேற்றுமையை முன்பே ஓர் பாதமின்மானியால் (Quadrant Electrometer) அளக்கலாம். அதே கருவியால் இணேப்பு ஏற்பட்ட பின் நிலேப்பு வேற்றுமை

அருவி யோட்டத்தால் நீக்கப்பட்டுவிட்டதென்பதை யும் காட்டலாம். இரண்டிடங்களுக்கிடையே நிலைப்பு வேற்றுமை மாறாதிருந்தால்தான் அவற்றை இணைக்கும் உகைவியில் தொடர்ந்து சீரான அருவி ஓடும். வால் டாய்க் கடங்கள் (Voltaic Cells), மின்கல அடுக்கு (Battery), டைனமோக்கள் (Dynamo) முதலியவைக ளெல்லாம் இந்த மாறாத நிலைப்பு வேற்றுமையை ஏற் படுத்தும் சாதனங்களேயாகும்.

சாமானிய வால்டாய்க் கடம்:—ஒரு பளிங்குப் பாத்திரத்திலே கந்தகக் காடியை (Sulphuric acid) நிரப்புவோம். ஒரு செப்புத் தகட்டையும் ஒரு நாகத் தகட்டையும் ஒன்றை யொன்று தொடாதபடி காடிக் கரைநீரிலே சிறிது முழுகவைப் போம். இதுவே வால் டாய்க் கடத்தின் அமை ப்பு முறையாம். (படம் 429). செப்புத் தகட்டை மிகைத்தகடு (Positive plate) எனவும், நாகத் தகட்டை குறைத்தகடு (Negative plate) என வும் கூறுவர். அவை யிரண்டுமே மின்துருவங் கள் (Electrodes) எனப்படும். அவையிரண்டையும் வெளியே ஓர் பிணைப்புக் கம்பியால் (Connecting wire) ஒரு மின்னோட்டமானி மூலமாக இணைத்தால் மின்னருவியின் ஓட்டத்தைக் காணலாம். மின்னோட்ட மானிக்குப் பதிலாக ஒரு பாதமின்மானியை அதேயிடத் தில் இணைத்தால், இரு தகடுகளுக்கிடையேயுள்ள



படம் 429

நிலைப்பு வேற்றுமையை அறியலாம். இந்நிலைப்பு வேற்றுமையே கடத்தின் மின்னியக்க சக்தி (Electro-motive force) எனப்படும். மின் துருவங்கள் இணைக்கப்படாமல் இருக்கும்போது கடம் முடியாத மண்டலத்தில் (Open circuit) இருப்பதாகவும் கூறப்படும். கடம் முடியாத மண்டலத்தில் இருக்கும்போது மின் துருவங்களின் இடையே ஏற்படும் நிலைப்பு வேற்றுமையே, கடத்தின் மின்னியக்க சக்தி எனப்படும். மேலும் மண்டலத்தில், அருவி, செப்புத் துருவத்திலிருந்து நாகத் துருவத்திற்கு ஓடுகிறது என்பதைக் காணலாம். இந்த அருவி தொடர்ந்து ஓடிக்கொண்டிருக்கிறது. அவ்வாறு ஓடுவதற்கு நிலைப்பு வேற்றுமை அவசியம் என்பதை நாமறிவோம். இந்த நிலைப்பு வேற்றுமையைக் கடம் எவ்வாறு ஏற்படுத்துகிறது என்பதைப் பற்றி இரண்டுவாதங்கள் கூறப்படுகின்றன. அவை முறையே பரிச வாதம், இரசாயன வாதம் எனப்படும்.

நாக மின்துருவத்தை அது மூழ்கியுள்ள கந்தகக் காடி தாக்குவதால் 'நாகக் கந்தகை' (Zinc Sulphate) உண்டாகிறது. நீரகம் வெளியிடப்படுகிறது. இந்த இரசாயன மாறுபாட்டால் வெளியிடப்படும் ஆற்றல் மின்னாற்றலாக மாறி மண்டலத்தில் மின்னருவியோட்டத்தை ஏற்படுத்துகிறது. மின் துருவங்கள் புறத்தே இணைக்கப்பட்டபோது அருவி செப்புத் துருவத்திலிருந்து நாகத் துருவத்திற்கு ஓடுவதாகக் கண்டோம். நாகத்தின் இரசாயனச் சேர்க்கையால் வெளியிடப்படும் நீரகம், செப்புத் துருவத்தின் வழியாகக் கொப்புளித்து வெளிவரக் காணலாம். இவ்வாறு நீரகம் செப்புத் துருவத்தின் அருகே வெளி வருவதால், அருவியானது கடத்தின் அகத்தேயுள்ள காடியில் நாகத்திலிருந்து செம்பிற்கும், புறத்தேயுள்ள கம்பியில் செம்பிலிருந்து நாகத்திற்கும் ஓடுகிறது என்பதை அறியலாம்.

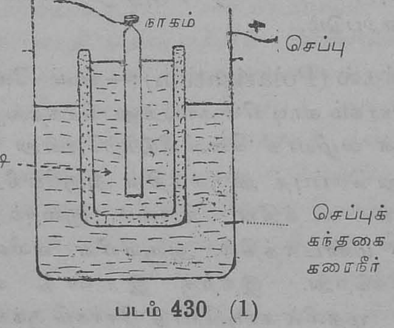
சாமானிய வால்டாய்க் கடத்தின் குறைபாடுகள் :— கடம் வேலை செய்யாதிருக்கும் போதே அடிக்கடி நாகத்தைக் கந்தகக் காடி அரித்துவிடுவதுண்டு. கடையில் கிடைக்கும் நாகத் தகடுகளில் கரி, இரும்பு, காரீயம், உள்ளியம் (Arsenic) போன்ற வேறு பதார்த்தங்கள் சிறிது கலந்திருப்பது தான் இதற்குக் காரணம். நாகத்திற்கும் இப்பதார்த்தங்களுக்குமிடையே சிறு கடங்கள் ஏற்பட்டுப் பல அருவிகள் தகட்டின் மேல் ஓடுவதால் அத்தகடு வீணுக அரிக்கப்படுகிறது. இதைத் தடுப்பதற்காக நாகத் தகட்டின் மேல் பாதரசத்தைப் பூசுவது வழக்கம். பாதரசம் நாகத்தைத் தன்னுள் கரைத்து ரசபூரத்தை (Amalgam) உண்டாக்குகிறது. இது மற்ற பதார்த்தங்களை மூடிக்கொள்ளுவதால், முன்னுல் கூறியபடி நாகம் வீணுக அரிக்கப்படுவதில்லை. இதைச் செய்வதற்கு நாகத்தை முதலில் காடியில் கழுவி, பிறகு ஒரு துளி பாதரசத்தை அதன்மேல் வைத்து, ஒரு சிறு துணியாலாவது அல்லது தூரிகையாலாவது தேய்ப்பது வழக்கம். இவ்வாறு செய்துவிட்டால் கடம் முடிந்த மண்டலத்தில் இருக்கும்போது மட்டுமே, அருவியோட்டமும், அதனுல் நாகம் அரிக்கப்படுதலும் ஏற்படும்.

தூர்தல் (Polarisation) :—கடம் வேலை செய்யும் போது நாகம் காடியில் கரைந்து நீரகத்தைச் செப்புத் தகட்டின் வழியாக வெளியிடுகிறதென்று கூறினேம். இவ்வாறு செப்புத் துருவத்தின் அருகே நீரகம் தேங்கி நிற்பதால் கடத்தின் திறமை குறைந்துவிடுகிறது. இதனுல் மண்டலத்தில் அருவியின் வலிமை குறையவாரம்பிக்கிறது. இதற்கு இரண்டு காரணங்கள் உண்டு. முதலில் காடியோடு சேர்ந்திருக்கும் செப்புத் தகட்டின் பரப்பு குறைந்து விடுவதால், கடத்தின் அகத் தகைவு (Internal resistance) மிகுதிப்பட்டு, அத

னால் அருவியின் வலிமை குறைகிறது. மற்றும் இத் தேக்கத்தால் ஒரு மின்னியக்க சக்தி எதிர்த் திசையில் ஏற்பட்டு, மண்டலத்தில் ஒரு எதிர் அருவியை உண்டாக்க முயலுகிறது. இதனால் கடத்தின் மின்னியக்க சக்தி குறைவுபட்டு அருவியின் வலிமையும் குறைகிறது. இக்குறைபாட்டைப் போக்கவேண்டுமானால், இவ்விரண்டுக்கும் காரணமான 'தூர்தல்' எனப்படும் நீரகத் தேக்கத்தை ஒழிக்கவேண்டும். பிராணீகரணம் (Oxidation), நீக்கம் (Displacement) ஆகிய இரண்டு முறைகளால் இதைச் செய்யலாம்.

திருந்திய முறையில் செய்யப்பட்ட கடங்களில், இவ்விரு குறைபாடுகளும் தக்கவாறு நிவர்த்திக்கப்பட்டு இருக்கின்றன. பாதரசப் பூச்சினால் முதல் குறைபாட்டை எளிதாக நிவர்த்திக்கலாம். தூர்தலை பிராணீகரணம், நீக்கம் ஆகிய இரண்டிலொன்றால் நிவர்த்திக்கலாம்.

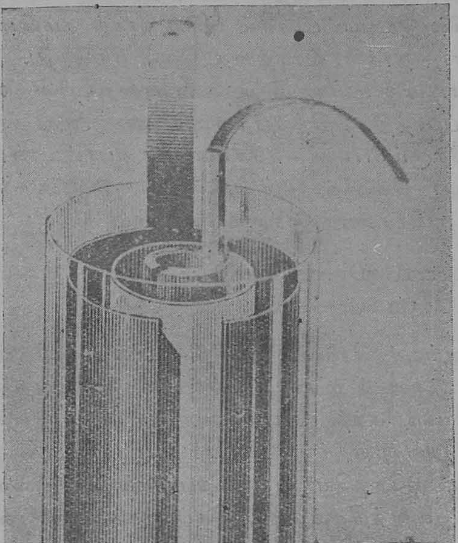
'டேனியல்' கடம் :—இந்தக் கடம் இரண்டு விதங்களாக அமைக்கப்படுகிறது. ஒன்றில் வெளிப்பாத்தி



படம் 430 (1)

ரம் செம்பாலானது. மற்றொன்றில் இது கண்ணாடியாலானது. (படம் 430 (1), (2)). வெளிப்பாத்திரத்

தில் செப்புக்கந்தகைக் கரைநீர் இருக்கிறது. அதனுள்ளே வளாவிய கந்தகக் காடி நிறைந்த ஒரு கண்ணறைச்சாடி (Porous pot) வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இரசம் பூசிய நாகக் கம்பி இதனுள் இருக்கிறது. வெளிப்பாத்திரம் செம்பாலாகி யிருந்தால், அதனோடு ஒரு பிடிப்புத் திருகைப் (Binding Screw) பொருத்தி, அதையே கடத்தின் உயர் நிலைப்புத் துருவமாகக் கொள்



படம் 430 (2)

ளலாம். வெளிப்பாத்திரம் கண்ணாடியாலாகி இருந்தால் ஒரு செப்புத் தகட்டை வளைத்துக்கரைநீரிலே முழுக்கி

அதை உயர் நிலைப்புத் துருவமாகக் கொள்ளலாம். முன்னால் கூறிய அமைப்புள்ள கடத்தில், செப்புப்பாத் திரத்தின் மேல்பாகத்தில், உட்புறத்தில், துளைகள் கொண்ட தகட்டினாலான மாடம் ஒன்று இருக்கிறது. அதன் வழியே செப்புக்கந்தகைப்படிகங்களை இட்டு கரைநீரின் உறைப்பு குறையாமல் வைத்துக்கொள்ள லாம். இந்தக் கடத்தில் எவ்வாறு தூர்தல் நிவர்த்திக் கப்படுகிறது என்பதைப் பார்ப்போம். கண்ணறைச் சாடியில் இடப்பட்ட ரசம் பூசிய நாகக் கம்பியை கந்த கக் காடி தாக்கி நீரகத்தை வெளியிடுகிறது. இந்நீர கம் சாடியில் உள்ள சிறு கண்ணறைகளின் வழியாய் வெளிப்பாத்திரத்திற்குப் பரவுகிறது. அது கரை நீரு டன் சேரும்போது ரசாயன மாறுபாட்டால் நீரகம் செம்பை வெளித் தள்ளுகிறது. இவற்றைக் கீழ்க் கண்ட சமீகரணங்களால் காணலாம்.

$$Zn + H_2SO_4 \longrightarrow ZnSO_4 + H_2$$
$$H_2 + CuSO_4 \longrightarrow Cu + H_2SO_4$$

ஆய்வுச் சாலைகளில் சிறிய மின்னருவிகளை உண் டாக்க இக்கடம் மிகவும் பயன்படுகிறது. அதனுடைய மின்னியக்க சக்தி கூடியவரை மாறாமல் இருக்கிறது. அதன் அளவு ஏறக்குறைய 1·1 ஓல்ட்டாகும். ஆனால் இதற்கு ஒரே யொரு குறைபாடுண்டு. இதை நெடு நேரம் வைத்திருந்தால், செப்புக்கந்தகை கரை நீர் கண்ணறைச் சாடிக்குள் சென்று, நாகக் கம்பியைத் தாக்கி, செம்பை வெளியிடுகிறது. இதனால் இதன் திறமை குறைந்துவிடுகிறது.

'லக்ளாஞ்சின்' கடம் :—(படம் 431). இதி லுள்ள மிகைத்துருவம் ஒரு கரிக்கம்பியாகும். முன் னது போலவே இதிலும் குறைத்துருவம் ஒரு ரசம் பூசப் பட்ட நாகக் கம்பியாகும். ஒரு கண்ணறைச் சாடியில்

மங்கன இருதீயதை (Manganese Dioxide)யை நிரப்பி, அதைக் கரிக்கம்பியைச் சூழவைத்து, அதையே

படம் 431

தூர்போக்கும் சாதனமாய் உபயோகிக்கிருர்கள். இதில் உறைப்பான நவச்சியப் பாசிதைக் கரைநீர் (Ammonium chloride) நிரம்பி இருக்கிறது. கடத்தின் தொழிற்பாட்டைக் கீழ்க்கண்ட சமீகரணங்களின் உதவியால் எளிதில் அறியலாம்.

$$Zn + 2NH_4Cl \longrightarrow ZnCl_2 + 2NH_3 + H_2$$

$$H_2 + 2MnO_2 \longrightarrow Mn_2O_3 + H_2O.$$

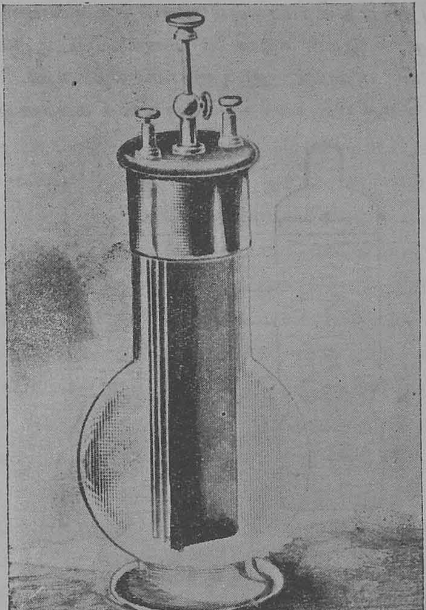
இவ்வாறாக வெளித்தள்ளப்படும் நீரகம், மங்கனை இருதீயதையினால் பிராணீகரணித்து நீக்கப்படுகிறது. இதில் ஒரு குறை உள்ளது. பிராணீகரணத்தால் நீக்கப்படுவதைவிட விரைவாக நீரகம் வெளிவருவதால், சிறிது நேரத்திற்குப் பிறகு நீரகம் தேங்கிக் கடம் தூர்ந்து விடுகிறது. வெளிமண்டலத்தில் அருவி மெலிவதால் இது நமக்கு நன்கு புலப்படுகிறது. சிறிது நேரம் களைப்பாறவிட்டால், இருதீயதை நீரகத் தேக்கத்தை நீக்கி, மறுபடியும் கடத்தை வேலை செய்யத் தயாராக்குகிறது. சிறிது சிறிது பொழுதிற்கு மட்டுமே உபயோகித்தால் இக்கடம் நன்றாக வேலை செய்கிறது. ஆகையால் மின்சாரமணி, தொலைப் பேசி முதலிய இடைவிட்ட அருவி வேண்டிய வேலைகளுக்கு மட்டுமே பயன்படுகிறது. இதை எளிதிலே அமைத்துவிடலாம். மற்றும் இதை அதிகமாய்க் கண்காணிக்க வேண்டுவதில்லை. இவையிரண்டும் இதிலுள்ள சாதகங்களாகும். இதன் மின்னியக்க சக்தி ஏறக்குறைய 1·5 'ஓல்ட்' டாகும்.

'பைக்ரோமேட் கடம்' (படம் 432) :—இது பிரதம கடங்களில் மற்றொரு வகையாகும். கரிக்கம்பியும் இரசம் பூசிய நாகக் கம்பியுமே இதில் மின்துருவங்களாக உபயோகிக்கப்படுகின்றன. இரண்டு கரித்துருவங்கள் ஒரு பொதுவான பிடிப்புத் திருகுடன் பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றினிடையே இரசம் பூசிய நாகத் தகடு வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதில் கண்ணறைச் சாடி இல்லை. இரு துருவங்களும் ஒரு கண்ணாடிப்பாத்திரத்திலுள்ள கந்தகக் காடி, சாம்பர இரு குருமிகை (Potassium Dichromate), இவை கலந்த ஒரு கரை நீரிலே முழுகி இருக்கின்றன. இவற்றில் கந்தகக்காடியே தாக்கும் திரவமாகும். சாம்பர இருகுமிகை தூர் நீக்கும் சாதனமாகும். இரசாயன மாறுபாடு வருமாறு:-

$$3\,Zn + 3\,H_2SO_4 \longrightarrow 3\,ZnSO_4 + 3\,H_2$$

$$K_2Cr_2\,O_7 + 4\,H_2SO_4 + 3\,H_2 \longrightarrow K_2\,Cr_2\,(SO_4)_4 + 7\,H_2\,O.$$

கடத்தை உபயோகிக்காத போது நாகத் தகடு வெளியே எடுத்துவிடப்படும். முடிந்த மண்டலத்தில்

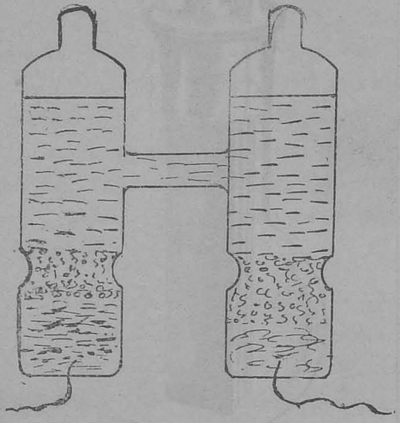


படம் 432

இக்கடத்தின் மின்னியக்க சக்தி ஏறக்குறைய 2 ‘ ஓல்ட்’ ஆகும். மின் துருவங்கள் காடிக்கரை நீரிலே மிக நெருங்கி இருப்பதால் இக்கடத்தின் அகத்தகைவு மிகக் குறைவாகும். இதனுல் புறமண்டலத்தில் பெரிய அருவி உண்டாகும்.

உலர்ந்த கடங்கள் (Dry Cells) :—மின்சாரக் கைவிளக்குகளிலும் மற்றவற்றிலும் உபயோகிக்கப்படும் உலர்ந்த கடங்களெல்லாம் லக்ளாஞ்சிக் கடத்தின் விகற்பங்களாகும். இந்தக் கடத்தில் ஒரு நாக உருளை இருக்கிறது.

அது பாத்திரமாகவும் குறைத்துருவமாகவும் பயன்படுகிறது. இதன் நடுவிலே வைக்கப்பட்டிருக்கும் ஒரு கரிக்கம்பி மிகைத் துருவமாக நிற்கிறது. இவற்றினிடை வெளியில் நவச்சியப் பாசிதை கலந்த ஒரு பிசின்



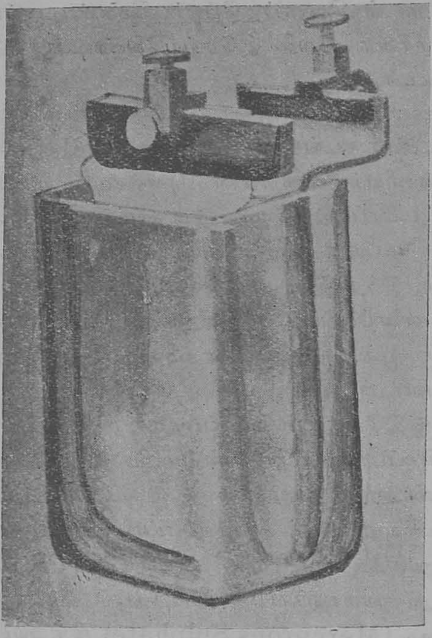
படம் 433

நிறைந்திருக்கிறது. மங்கன இருதீயதை, கரித்தூள், சுண்ண நீறு (Lime), நிலவியதீயதை (Magnesium oxide) மாவு, நாகப்பாசிதை, பாரிஸ் பிசின் (Plaster of paris), நாகத்தீயதை முதலியனவும் அப்பசையில் கலந்திருக்கின்றன. இப் பலசாரக்குகளின் கலவை விகிதமே இக்கடங்களில் பல விகற்பங்களுக்குக் காரணமாகிறது. புதிதாகச் செய்யப்பட்டபோது அவை பலமான அருவிகளைக் கொடுக்கின்றன. ஆனால் அவை

முற்றும் உலர்ந்துபோகும்போது அவற்றின் அகத் தகைவுகள் மிகுதிப்பட்டு அருவியோட்டத்தை நிறுத்தி விடுகின்றன. உண்மையைக் கூறுமிடத்து இவை உலர்ந்த கடங்களெனப் பெயர் கொண்டிருப்பினும், அவை சரிவர வேலை செய்யவேண்டின் உலர்ந்து போதல்கூடாது.

கட்டளைக் கடங்கள் (Standard Cells) :—பொது வாக மின்னியக்க சக்திகளை அளக்கவும், மற்ற கடங் களைக் கட்டளைப்படுத்தவும், இன்னும் பலவேறு காரியங் களுக்கும் மாருத மின்னியக்க சக்தியுள்ள கடங்கள் வேண்டும். இந்த இயல்பையுடைய கடங்கள் கட்டளைக் கடங்கள் எனப்படும். இவ்விதமான கட்டளைக் கடங் களுக்குள் முக்கியமானது கதமியம் (Cadmium) அல் லது வெஸ்டன் (Weston) கடம் எனப்படும். (படம் 433). இதிலே உபயோகப்படும் மின்துருவங்களைப் பற்றிச் சிறப்பாகக் கூறவேண்டும். இரண்டு சம அள வான கண்ணடிக் குழாய்கள் இடையிலே மற்ருெரு கண்ணடிக்குழாயால் சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரு குழாயினுள்ளே அடியில் தங்கியிருக்கும் பாதரசம் மிகைத் துருவமாகப் பயன்படுகிறது. அதன்மேல் இர சக்கந்தகை (Mercurous Sulphate) பிசினும், அதன் மீது கதமியப் படிகங்களும் இருக்கின்றன. மற்ருெரு குழாயில் உள்ள இரசபூரம் குறைத்துருவமாகும். அதன்மீது கதமியக் கந்தகைப் படிகப் பிசின் இருக் கிறது. இரண்டு குழாய்களிலும் இவற்றிற்கு மேலே கதமியக் கந்தகைத் தெவிட்டிய கரைநீர் நிரம்பி இருக் கிறது. இக்கண்ணடிப் பாத்திரம் நன்ருக மூடப்பட் டிருக்கிறது. இதன் மின்னியக்க சக்தி 20°c சூட்டில் 1·0183 ' ஓல்ட் ' ஆகும்.

'குரோவின்' கடம் :—(படம் 434). பிரதம கடங்களில் மற்றொன்று குரோவின் கடமாகும். இதன் துருவங்களில் ஒன்று மெல்லிய பிளாடினம் தகடு; மற்



படம் 434

றொன்று நாகத் தகடு; காலகக்காடி இதன் தூர்போக்கியாகப் பயன்படுகிறது. இக்கடத்தின் தொழிற்பாடு கீழ்க்கண்ட இரசாயன சமீகரணங்களால் எளிதில் விளங்கும்.

$$Zn + H_2SO_4 \longrightarrow ZnSO_4 + H_2$$
$$H_2 + 2\ HNO_3 \longrightarrow 2\ H_2O + 2NO_2.$$

காலகக்காடியின் பிராணீகரணத்தால் தூர்தல் போக்கப்படுகிறது. ஆனல் இது 'டேனியல்', 'லக்ளாஞ்

சுக்' கடங்களைப்போல் அவ்வளவு அதிகமாக உபயோகப்படுத்தப்படுவதில்லை. அதற்குக் காரணம்:—

(1) பிளாடினம் தகட்டினால் இதன் விலை அதிகமாய் இருப்பது.

(2) காலகப் பரதீயதையின் (Nitrogen peroxide) புகை கெட்ட நெடியோடிருப்பது. இந்தக் கடத்தின் அகத்தகைவு கூடியவரையில் குறைவானது. ஆகையால் பெரிய அருவியை உண்டாக்குகிறது. இதன் மின்னியக்க சக்தி ஏறக்குறைய 1·9 'ஒல்ட்' ஆகும்.

'புன்ஸன்' கடம்:—இது மேலே கூறிய குரோவின் கடத்தைப் பெரும்பாலும் ஒத்ததே யாகும். அதிலுள்ள பிளாடினம் தகட்டிற்குப் பதிலாகக் கரிக்கம்பிமிகைத் துருவமாக உபயோகிக்கப்படுகிறது. இம்மாறுதலால் கடத்தின் விலை மிகக் குறைந்துவிடுகிறது.

துணைக்கடங்கள் (Secondary Cells):—இதுவரை நாம் விவரித்த கடங்களெல்லாம் பிரதம கடங்கள் எனப்படும். இவற்றைத் தவிரத் துணைக்கடங்கள் என்றும் மற்றொரு வகைக் கடங்கள் உண்டு. பிரதம கடத்திற்கு வேண்டிய பொருள்களைச் சேர்த்து முறைப்படி அமைத்துவிட்டால், அது உடனே வேலையாரம்பித்து அருவியைத் தோற்றுவிக்கும். துணைக்கடமோ அதை முன்பே சுமையேற்றி வைத்திருந்தாலொழிய அருவியைத் தோற்றுவிக்காது. பிரதம கடங்கள் பெரிய அருவியை உண்டாக்கப் பயனற்றவை. துணைக்கடங்களோ பெரிய அருவியைவெளியிடும் திறமைவாய்ந்தன. அகத்தகைவு குறைவாய் இருப்பதாலும், மின்னியக்க சக்தி மாறுதிருப்பதாலும், துணைக்கடங்களே ஆய்வுச்சாலைகளில் அருவியை உண்டாக்கப் பயன்படுகின்றன. இத்துணைக் கடங்களை சேமங்கள் என்று கூறுதலும் உண்டு.

சேமங்கள் (Accumulators):—சேமங்களில் பல வகையுண்டு. நாம் ஈயச்சேமம், எடிஸன் சேமம் ஆகிய இரண்டைப்பற்றி மட்டுமே கூறுவோம். ஈயச்சேமத்தில், ஒரு கண்ணுடிப் பாத்திரத்தில் நிரம்பி இருக்கும் வளாவிய கந்தகக் காடியில், இரண்டு காரீயத் தகடுகள் முழுக்கி வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரு வெளி மின் சார ஆதாரத்திலிருந்து (வழக்கமாக ஒரு டைனமோவிலிருந்து) ஒரு அருவியை இதன் துருவங்களின் மூலமாகச் செலுத்திச் சேமத்தைச் சுமையேற்றவேண்டும். இவ்வாறு சுமை யேற்றும்போது ஒரு இரசாயன மாறுபாடு ஏற்படுகிறது. சுமையேற்றுவது முடிந்தவுடன் சில சான்றுகளால் முழுதும் சுமையேற்றியாய் விட்டது என்று நாம் தெரிந்துகொள்ளுகிறோம். உடனே சேமம் கழற்றப்படுகிறது. இப்போது அது வேலைக்குத் தயாராய் இருக்கிறது. அது அருவியை உண்டாக்கப் பயன்படும்போது அது சுமை நீக்குகிறது (Discharges) என்று சொல்லுவது வழக்கம். இப்போது மற்றொரு இரசாயன மாறுபாடு உண்டாகிறது. சிறிது நேரத்தில் கடம் முற்றிலும் சுமை நீக்கிவிடுகிறது. இனி உபயோகிக்கவேண்டுமானல் அதை மறுபடியும் சுமையேற்றவேண்டும். சேமத்தில் சுமையேற்றமும் சுமை நீக்கமும் ஏற்படும்போது நடக்கும் இரசாயன மாறுபாடுகளை நாம் சிறிது விசாரிப்போம். இதில் உபயோகிக்கப்பட்ட ஈயத்தகடுகள் வெறும் ஈயத்தகடுகள் அல்ல. அவற்றின்மீது ஈயக் கந்தகை (Lead Sulphate) கலந்தபசை யொன்று ஒரு விசேஷ முறையில் பூசப்பட்டிருக்கிறது. இவை கந்தகக் காடியில் முழுக்கப்பட்டு, இவற்றின் மூலமாக ஒரு அருவி செலுத்தப்படுகிறது. இவ்வருவி காடியை நீரக இயனிகளாகவும் (Ions), கந்தகை இயனிகளாகவும் மின்னூட்டிப் (Electrolysis) பிரிக்கிறது. நீரகவாயு இயனிகள் ஒரு ஈயத்

தகட்டை நோக்கிப் போகின்றன. கந்தகை இயனிகள் மற்றொரு தகட்டை நோக்கிப் போகின்றன. நீரகம் கொப்புளித்து வருமிடத்திலுள்ள தகடு குறைத்துருவம் எனப்படும். மற்றொரு தகடு மிகைத்துருவம் எனப்படும். அவை ஈயத்தகடுகளைத் தாக்கிக் கீழ்க் கண்ட இரசாயன மாறுபாடுகளை உண்டாக்குகின்றன.

$SO_4 + PbSO_4 + 2H_2O \longrightarrow PbO_2 + 2H_2SO_4$.... (1)

$H_2 + PbSO_4 \longrightarrow H_2SO_4 + Pb$............(2).

இச்சமீகரணங்களால் அருவியைச் செலுத்திய பிறகு, மிகைத்துருவத் தகட்டில் ஈயப்பரதியதை இருப்பதாகவும், குறைத்தகட்டில் காரீயம் இருப்பதாகவும் தெரிகிறது. மற்றும் காடியின் உறைப்பு அதிகமாய் விட்டது என்பதையும் காண்கிறோம். இந்த மாறுபாடுகள் முடிவடைந்தவுடன் கடம் முழுதும் சுமையேற்றப் பட்டிருக்கிறது. அதை இப்போது கழற்றி எடுத்து விடவேண்டும். இரண்டு தகடுகளின்மீதும் இருந்த ஈயக்கந்தகை முழுதும் ஈயப்பரதியதையாகவும், பஞ்சு ஈயமாகவும் (Spongy lead) மாறியவுடன் நீரகமும், பிராணவாயுவும் துருவத்தகடுகளின் அருகே மிகுதியாகக் கொப்புளித்து வெளிவருகின்றன. கடத்தில் சுமை நிறைந்துவிட்டது என்பதைக் காட்ட இது ஒரு குறிப்பாக உதவுகிறது. காடியின் செறிவில் ஏற்படும் மாறுதலும் இதைக் குறிக்கப் பயன்படுகிறது. நீரகமும் பிராண வாயுவும் கடம் சுமை யேற்றும் போது ஒரு திசையிலும், சுமை நீக்கும்போது அதற்கு எதிர்த்திசையிலும் செல்லுகின்றன. சுமை நீக்கும் போது ஏற்படும் மாறுபாடுகள் வருமாறு:

$PbO_2 + H_2 + H_2SO_4 \longrightarrow PbSO_4 + 2H_2O$.

$Pb + H_2SO_4 + O \longrightarrow PbSO_4 + H_2O$.

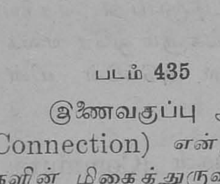
இப்போது தகடுகள் தங்களுடைய பழைய நிலைக்கு வந்துவிட்டன. கடங்களை முற்றிலும் சுமை நீக்கும்படி

விடுவதில்லை. பெரும் பாகம் சுமை நீங்கினவுடனே மறு படியும் அதில் சுமையேற்றப்படும். சேமத்தின் அகத் தகைவு மிகவும் குறைவானது. ஆகையால் அதை எக்காரணத்தைக் கொண்டும் குறுக்க (Short circuit)க் கூடாது. அவ்வாறு செய்தால் அதில் உண்டாகும் பெரிய அருவியால் தகடுகள் கெட்டுப்போய்விடும். அதன் மின்னியக்க சக்தி ஏறக்குறைய 2 'ஓல்ட்' ஆகும். சேமத்தை என்றும் சுமையேற்றாமல் நெடு நேரம் வைத்திருக்கக்கூடாது.

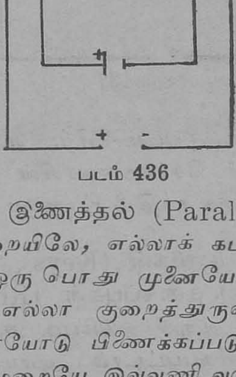
'எடிஸன்' சேமம் :—முற்றிலும் புதிய வகையான ஒரு சேமம் எடிஸனால் இயற்றப்பட்டது. இதன் மிகைத்துருவம் ஒரு நிகலச் சட்டகத்தில் வைக்கப்பட்ட ஒரு நிகலக் குழாயாகும். அதிலே நிகலநீருடையி (Nickel hydrate) நிரப்பி இருக்கும். குறைத்துருவம் ஒரு நிகல எஃகுத் தகடு. அதிலுள்ள சிறு பைகளில் சன்னமான அயத்தீயதை (Iron Oxide) நிரம்பியிருக்கும். இதற்கு மின்னூட்டி (Electrolyte) சாம்பர நீருடையி (Potassium hydrate) கரைநீராகும். எடிஸன் சேமம் ஈயச் சேமத்தைவிடப் பலமானதென்றும், சுமை நீங்கியும் பல நாட்கள் கெடாமல் இருக்கக்கூடியதென்றும் சொல்லப்படுகிறது. அதன் மின்னியக்க சக்தி குறைவானது. அது ஏறக்குறைய 1·2 'ஓல்ட்' ஆகும்.

கடங்களை அணிவகுத்தல் :—படத்திலே கடங்களை இரு சிறிய இணை நேர்கோடுகளால் குறிப்பது வழக்கம். அவற்றுள் நீண்ட மெல்லிய கோடு மிகைத்துருவத்தையும் குறுகிய தடித்த கோடு குறைத்துருவத்தையும் குறிக்கும். (அமெரிக்காவில் இதை மாற்றிக் குறிக்கின்றனர்.) கடங்களைப் பல முறைகளிலே அணிவகுக்கலாம். தொடர் வகுப்பு அல்லது தொகுத்தல் (Series Connection) என்னும் முறையிலே, முதற் கடத்தின்

குறைத்துருவம் இரண்டாவது கடத்தின் மிகைத்துருவத்தோடு பிணைக்கப்படும். இரண்டாவது கடத்தின் குறைத்துருவம் மூன்ருவது கடத்தின் மிகைத்துருவத்தோடு பிணைக்கப்படும். இவ்வாறே எல்லாக் கடங்களும் பிணைக்கப்படும். (படம் 435). நாம் n கடங்களைப் பிணைத்தால் முதற்கடத்தின் மிகைத்துருவமும் n-ஆவது கடத்தின் குறைத்துருவமும் எஞ்சி நிற்கும். இவை அம்மின்கல அடுக்கின் துருவங்களாகக் கொள்ளப்படும். இக்கடங்களின் மின்னியக்க சக்திகள் முறையே $E_1, E_2, E_3 \ldots E_n$ ஆனல், இம்மின்கல அடுக்கின் மொத்த மின்னியக்க சக்தி இவற்றின் கூட்டுத் தொகையாகிய $E_1 + E_2 + E_3 \ldots\ldots E_n$ ஆகும். எல்லாக் கடங்களின் மின்னியக்க சக்திகளும் E என்னும் ஒரே அளவினவாய் இருப்பின், கூட்டு மின்னியக்க சக்தி n E ஆகும். உயர்ந்த மின்னியக்க சக்தி வேண்டியபோது இம்முறை பெரிதும் பயன்படும்.



படம் 435



படம் 436

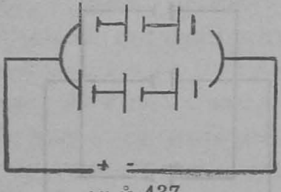
இணைவகுப்பு அல்லது இணைத்தல் (Parallel Connection) என்னும் முறையிலே, எல்லாக் கடங்களின் மிகைத்துருவங்களும் ஒரு பொது முனையோடு பிணைக்கப்படும். அவ்வாறே எல்லா குறைத்துருவங்களும் மற்றொரு பொது முனையோடு பிணைக்கப்படும். இவ்விரு பொது முனைகளும் முறையே இவ்வணி வகுப்

பின் மிகைத்துருவமாகவும் குறைத்துருவமாகவும் பயன் படும். (படம் 436).

இவ்வணி வகுப்பின் மின்னியக்க சக்தி ஒரு தனித்த கடத்தின் மின்னியக்க சக்திக்குச் சரி. அதாவது Eயே யாகும்.

இவ்வாறு பல கடங்களை இணையாகச் சேர்ப்பது, ஒரு கடத்தின் துருவத் தகடுகளின் பரப்பைப் பெருக்கியதற்கு ஒப்பாகும். இம்முறையில் பிணைப்பதால் மின்கல அடுக்கின் அகத்தகைவு பெரிதும் குறைந்து கடங்கள் கெட்டுப்போகாமலே பெரிய அருவிகளைப் பெறுவது சாத்தியமாகிறது. இதுவே இம்முறையினாலாகிய சாதகமாகும்.

சில சமயங்களில் மின்கல அடுக்கில் தொடர் வகுப்பு, இணை வகுப்பு ஆகிய இரண்டு முறைகளிலும் கடங்கள் பிணைக்கப்படுகின்றன. இது கலவை வகுப்பு எனப்படும். படத்திலிருந்து மும்மூன்று கடங்கள் கொண்ட இரு தொடர் வகுப்புகள் ஒரு இணை வகுப்பிலே சேர்க்கப்பட்டிருப்பது தெரியவரும். (படம் 437). எல்லாக் கடங்களும் ஒரே வகையைச் சேர்ந்தனவாயின் இம்மின்கல அடுக்கின் மின்னியக்க சக்தி 3 E ஆகும்.

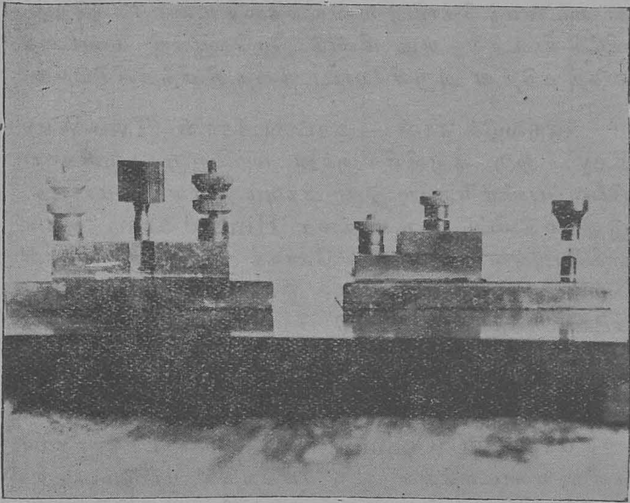


படம் 437

சாவிகள் (Keys), மாற்றகங்கள் (Commutators), தகைப்புகள் (Rheostats):—ஒரு மண்டலத்தில் அருவி ஓடும்படி குறை மிகை முனைகள் ஒன்று சேர்க்கப்பட்டால் அம்மண்டலம் முடிந்திருந்ததாய்க்

கூறப்படும். அதில் அருவி ஓடாதபோது, அதாவது அதன் முனைகள் ஒன்றுசேராதபோது, அது முடியாதிருப்பதாகக் கூறப்படும். ஒரு மண்டலத்தை எளிதாக உண்டாக்கவும் தடுக்கவும் பலவகையான சாவிகள் உபயோகிக்கப்படுகின்றன.

முளைச்சாவி (Plug Key) :—(படம் 438 (1)) நல்ல பரிசம் வேண்டியபோதும், நெடுநேரம் அருவியோட வேண்டியபோதும் இது பெரிதும் பயன்படும். இதில்



படம் 438 (1, 2)

இரண்டு உலோகக் கட்டைகள் இருக்கின்றன. அவற்றின் ஒவ்வொன்றின்மீதும் ஒரு பிடிப்புத் திருகு இருக்கிறது. இவை ஒரு மின்னுகையாப் பீடத்தின்மீது பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றினிடையே சிறிய இடை வெளி இருக்கிறது. அதில் ஒரு உலோக முளையைச் செருகி மண்டலத்தை முடித்துவிடலாம்.

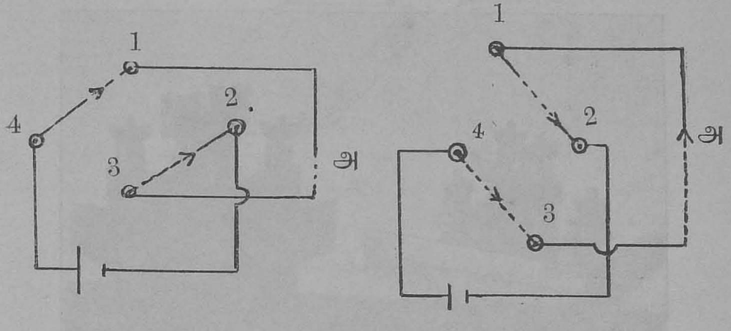
தட்டுச்சாவி (Tap-Key) :—(படம் 438 (2)). சிறிதுபொழுது மட்டுமே ஓடுகிற நோடி அருவிகளை ஓடும்படி செய்ய இது சௌகரியமானது. இதிலே ஒரு நீண்ட உலோகப் பட்டையும் ஒரு உலோகக் கட்டையும் இருக்கிறது. அவையிரண்டும் ஒவ்வொரு பிடிப்புத் திருகோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவையெல்லாம் ஒரு உகையாப் பீடத்தின்மீது பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. உலோகப்பட்டை ஒரு வில்லைப் போல இருக்கிறது. அதன் நுனியை அழுத்தினால் அது உலோகக் கட்டையைத் தொட்டு மண்டலத்தை உண்டாக்குகிறது. விட்டுவிட்டால் அது மீண்டு மேலெழும்பி மண்டலத்தைத் தடுத்து அருவியோட்டத்தை நிறுத்திவிடுகிறது.

இருவழிச் சாவி :—இரட்டைச்சாவி (Two-Way Key). ஒரு கருவியிலிருந்து மற்றொரு கருவிக்குப் பிணைப்புகளை மாற்ற இது மிகவும் சௌகரியமானது. இதிலே கீலிட்ட ஒரு கரத்தை (Hinged arm) அதன் எதிரேயுள்ள இரண்டு உலோகக் கட்டைகளில் ஒன்றைத் தொடச்செய்யலாம். இக்கரமும் இரு உலோகக் கட்டைகளும், அவற்றோடு பிணைக்கப்பட்ட பிடிப்புத் திருகுகளோடு, ஒரு உகையாப் பீடத்தின்மீது பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன.

மாற்றகம் (Commutator) :—சில பரிசோதனைகளில் மண்டலத்தின் ஒரு பாகத்தில் மட்டும், மற்ற பாகங்களில் எவ்வித மாறுதலுமின்றி, அருவியின் ஓட்டத்தை மாற்றிவிட வேண்டியிருக்கிறது. இது 'மாற்றகம்' என்னும் சாதனத்தால் எளிதில் செய்யப்படுகிறது. இதில் பலவித அமைப்புகள் உண்டு. நாம் அவற்றில் மூன்று வகைகளைப்பற்றி மட்டுமே விசாரிப்போம்.

அவையாவன :—இரசமாற்றகம் (Mercury Commutator), புளைமாற்றகம் (Plug Commuta-

tor), சாவி மாற்றகம் (Switch commutator) என்பன. எல்லாவற்றிலும் அடங்கிய தத்துவம் ஒன்று தான். 1, 2, 3, 4 என்று படத்தில் கண்டபடி நான்கு முனைகள் இருக்கின்றன. (படம் 439).

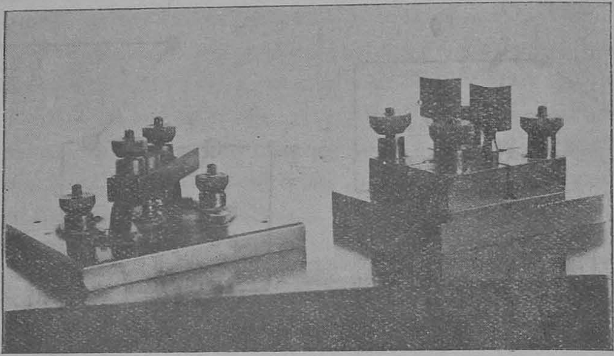


(a) படம் 439 (b)

சேமத்தின் துருவங்கள் 2, 4 என்னும் எதிர் மூலைகளில் உள்ள முனைகளோடு பிணைக்கப்படும். அ என்னும் உதைவியின் வழியாக அருவியோடும் திசையை மாற்றிவிட வேண்டியிருக்கிறது. அதன் முனைகள் 1, 3 என்னும் பிடிப்புத் திருகுகளோடு பிணைக்கப்படும்.

இந்த நான்கு முனைகளையும் இரண்டு முறைகளில் பிணைக்கலாம். 4, 1 இவற்றை ஒன்றாகவும், 2, 3 இவற்றை ஒன்றாகவும் முதல் படத்தில் கண்டபடி பிணைத்தால் அருவி அ-வில் வலம்புரியாகச் சுழன்று செல்லுகிறது. 1, 2 இவற்றை ஒன்றாகவும் 3, 4 இவற்றை ஒன்றாகவும் இரண்டாவது படத்தில் கண்டபடி பிணைத்தால், அ-வில் இடம்புரியாகச் சுழன்று செல்லுகிறது. இந்த நான்கு முனைகளையும் இரண்டிரண்டாகச் சேர்த்துப் பிணைப்பதைப் பலவகை மாற்றகங்கள் பலமுறைகளில் செய்விக்கின்றன.

மூளைமாற்றகம் :—இது (படம் 440(a))இல் கண்ட வாறு இருக்கும். மின்கல அடுக்கின் துருவங்களை எதிர் மூலைகளில் உள்ள முனைகளில் பிணைக்கவேண்டும். அருவி மாறியோடவேண்டிய மண்டலத்தின்

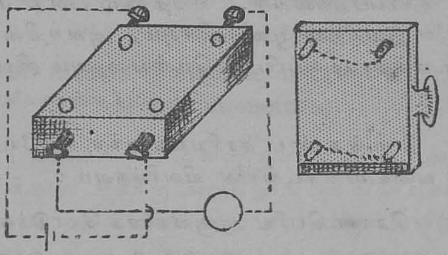


(a) படம் 440 (b)

முனைகளை மற்றிரண்டு முனைகளோடு பிணைக்கவேண்டும். நான்கு முனைகளையும் மாற்றி மாற்றிப் பொருத்துவதால் எளிதாக அருவியை மாறியோடச் செய்யலாம்.

பாதரச மாற்றகம் :—(படம் 441). இதை வெகு எளிதாகச் செய்யலாம். ஒரு சதுரமான கட்டையின் நான்கு மூலைகளிலும் சிறு குழிகள் செய்யப்பட்டிருக்கின்றன. அக்குழிகளில் பாதரசம் நிரம்பி இருக்கிறது. இவை நான்கும் ஒவ்வொரு பிடிப்புத் திருகோடு பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. முன்னாலே கூறியபடி எதிர் மூலைகளில் உள்ள இரண்டு திருகுகளை மின்கல வடுக்கோடும், மற்ற இரண்டு திருகுகளை அருவி மாறியோடவேண்டிய மண்டலத்தின் முனைகளோடும் பிணைக்கவேண்டும். படத்தில் கண்டபடி மற்றொரு சதுரக் கட்டையாலாகிய

மூடியில், இரண்டு தடித்த செப்புக்கம்பிகள் வளைத்து அடித்து வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இக்கம்பிகளின் நான்கு முனைகளும் பாதரசம் நிரம்பிய குழிகளில் சரி



படம் **441**

யாகப் பொருந்தும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதை ஒரு நிலையில் வைத்தால் அருவி ஒரு திசையில் ஓடும். மூடியை 90 பாகை திருப்பி வைத்தால் அருவி எதிர்த்திசையில் மாறி ஓடும்.

சாவி மாற்றகம் :—இது (படம் 440 *b*)இல் கண்டவாறு இருக்கும்.

வினாக்கள்

1. பிரதம கடங்களிலே நாகத்தின் சேதம், 'தூர்தல்' என்னும் நிகழ்ச்சிகளை விளக்குக. இவை எவ்வாறு நீக்கப்படுகின்றன. ஏதேனுமிரண்டு பிரதமக் கடங்களை இயற்றும் முறைகளையும், அவற்றின் மி. இ. ச. களை எவ்வாறு ஒப்பிடலாமென்பதையும் விளக்குக.

(அண்ணுமலை : 1931)

2. கீழ்க்கண்ட காரியங்களுக்கு உபயோகமான மூன்று வகை மின்கடங்களை விவரிக்கவும் :

(a) சீரான பெரிய அருவிகளைக் கொடுக்க

(b) அதிக கண்காணிப்பின்றி இடைவிட்டு வேலை செய்ய

(c) நிலைப்புமானி வேலைக்கு ஒரு கட்டளையான நிலைப்பு வேற்றுமையைக் காட்ட.

இவற்றைத் தேர்ந்தெடுத்தற்கான காரணங்களையும் எடுத்துரைக்கவும்.

(ஆக்ஸ் : 1932)

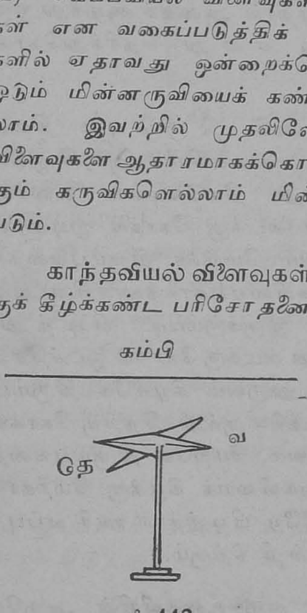
அத்தியாயம் 3

மின்னருவியின் காந்தவியல் விளைவுகளும் மின்னோட்ட மானிகளின் தத்துவமும்

(Magnetic effects of electric current & Principle of galvanometers)

ஒரு உகைவியில் மின்னருவி ஓடும்போது அந்த உகைவியிலும் அதற்கு அருகிலும் பல விளைவுகள் உண்டாகின்றன. அவற்றை (1) காந்தவியல் விளைவுகள் (2) வெப்பவியல் விளைவுகள் (3) இரசாயன விளைவுகள் என வகைப்படுத்திக் கூறலாம். இந்த விளைவுகளில் ஏதாவது ஒன்றைக்கொண்டு ஒரு உகைவியில் ஓடும் மின்னருவியைக் கண்டுபிடித்து அதை அளக்கலாம். இவற்றில் முதலிலே கூறப்பட்ட காந்தவியல் விளைவுகளை ஆதாரமாகக்கொண்டு மின்னருவியை அளக்கும் கருவிகளெல்லாம் மின்னோட்டமானிகள் எனப்படும்.

காந்தவியல் விளைவுகள் :—இவற்றைக் காண்பதற்குக் கீழ்க்கண்ட பரிசோதனைகளைச் செய்யலாம். ஒரு செங்குத்தான இருசைச் சுற்றித் தன்வயமாகச் சுழலக்கூடிய ஒரு காந்தஊசியை எடுத்துக்கொள்ளவும். அது பூமியின் காந்தப்புலத்தில் தெற்கு-வடக்காக நிற்கும். ஒரு நீண்ட செப்புக் கம்பியின் முனைகளை 'டேனியல்' கடத்தின் துருவங்களில்



படம் 442

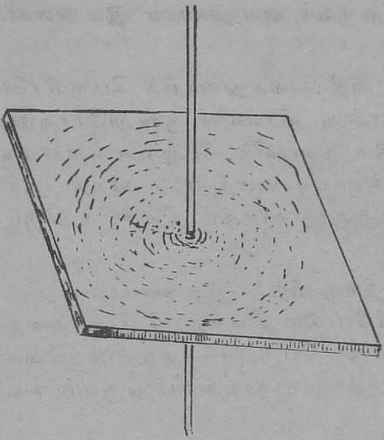
பிணைத்து, அக்கம்பியின் இடைப் பாகத்தைக் காந்த-ஊசியின்மீது அதற்கு இணையாக இருக்கும்படி தெற்கு வடக்காகப் பிடிக்கவும். உடனே காந்த ஊசி திரும்பி கிழக்கு மேற்காக நிற்க முயலுவதைக் காணலாம். (படம் 442).

இரண்டு மூன்று கடங்களைத் தொடுத்தால் ஊசி அதிகமாய்த் திரும்புவதைக் காணலாம். ஆகையால் அருவியின் பலம் அதிகமானல் ஊசியின் விலக்கம் அதிகமாகிறது என்று அறிகிறோம். காந்த ஊசி ஏன் இவ்வாறு திரும்புகிறது? ஒரு காந்தப்புலத்திற்கு உட்பட்டாலொழிய காந்த-ஊசி திரும்பாதென்று நாமறிவோம். எனவே, அருவி யோட்டத்தால் அதைச் சூழ்ந்து ஒரு காந்தப்புலம் ஏற்படுகிறது என்று தெரிந்துகொள்கிறோம்.

மற்றும், இக்காந்த ஊசி திரும்பும் திசை அதன் மேலே பிடிக்கப்பட்ட உகைவியில் அருவி ஓடும் திசையைச் சார்ந்திருக்கிறது. மேலேயுள்ள உகைவியில் அருவி தெற்கிலிருந்து வடக்கு நோக்கி ஓடினல், காந்த ஊசியின் வடதுருவம் மேற்கே திரும்புவதைக் காணலாம். மேலும் உகைவியைக் காந்தஊசியின் அடியில் அதற்கு இணையாக இருக்கும்படி பிடித்து, அருவியைத் தெற்கிலிருந்து வடக்கு நோக்கி ஓடச்செய்தால், காந்த-ஊசியின் வடதுருவம் கிழக்கே திரும்புவதையும், அருவியை வடக்கிலிருந்து தெற்கு நோக்கி ஓடச்செய்தால், அத்துருவம் மேற்கே திரும்புவதையும் நாம் காணலாம். உகைவியைக் கிழக்கு மேற்காக ஊசிக்கு மேலே அல்லது கீழே பிடித்தால் ஊசி எப்புறமும் திரும்பாமல் அசைவின்றி நிற்கும்.

அருவியோட்டத்தால் ஒரு உகைவியின் அருகே ஏற்படும் காந்தப்புலத்தை இன்னுமொரு பரிசோதனை

யால் காணலாம். (படம் 443). ஒரு சதுரமான அட்டையின் நடுவிலே ஒரு துவாரம் செய்து, அதன் வழியாக ஒரு செப்புக் கம்பியைச் செருகவும். அட்டையைப் படுக்கைவாக்கிலே பிடித்து வைத்துக் கொண்டு, அதன் மீது அரத்தூளைத் தூவவும். உகைவியின் மூலமாக ஒரு பலமான அருவியைச் செலுத்தவும். இப்போது அட்டையின்மீது மெதுவாகத் தட்டினால், அரத்தூளெல்லாம் உகைவியைச் சுற்றி, பொது மைய வட்டங்களாகப் Concentric Circles) படிந்திருப்பதைப் பார்க்கலாம்.



படம் 443

அரத்தூளைத் தூவுவதற்குப் பதிலாக ஒரு சிறு 'திசை காட்டி'யின் உதவியால் காந்தப்புலத்தை வரைந்தால், அது பொது மைய வட்டங்களாலாகி இருப்பதை அறியலாம். உகைவியில் அருவி கீழேயிருந்து மேல்நோக்கி ஓடினால் இவ்வட்டங்கள் இடம் புரியாகச் சுற்றி வரையப்பட்டிருப்பதையும், அருவி கீழ்நோக்கி ஓடினால் அவை வலம்புரியாகச் சுற்றி வரையப்பட்டிருப்பதையும் நாம் காணலாம்.

இப்பரிசோதனைகளின் முடிவை கீழ்க்கண்ட விதிகளால் எடுத்துக் கூறலாம்:

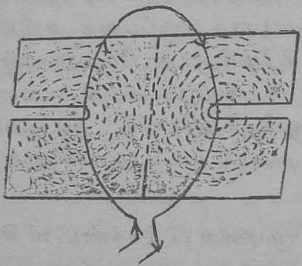
1. 'ஆம்பியர்' விதி:—இது முதல் பரிசோதனையைப் பற்றியது. ஒரு மனிதன் அருவியோடு காந்-

ஊசியைப் பார்த்துக்கொண்டே நீந்திச் சென்றால், காந்த ஊசியின் வடதுருவம் அவனுடைய இடதுகைப் புறமாகத் திரும்பும்.

2. வலதுகை விதி :—வலதுகையில் பெருவிரலை விரித்து, மற்ற நான்கு விரல்களை ஒன்றுசேர்த்து, அவற்றை அருவி ஓடும் திசையில் நீட்டி, உள்ளங்கை காந்த ஊசியை நோக்கும்படி வைத்தால், காந்த ஊசியின் வடதுருவம் பெருவிரல் காட்டும் திசையில் திரும்பும்.

3. வலம்புரித் திருகு விதி :—ஒரு வலம்புரித் திருகின் முனையை அருவியோடும் திசையைநோக்க வைத்துத் திருகினால், நமது பெருவிரல் சுழலும் திசையிலே உகைவியைச்சுற்றி ஒரு காந்த வடதுருவம் சுழலுவதற்கு முயலும்.

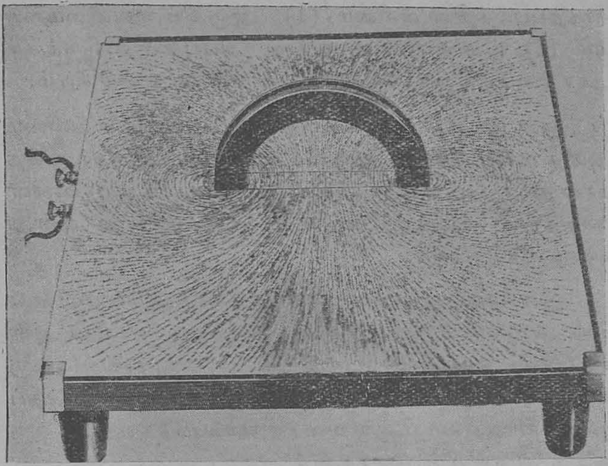
அருவியை அளத்தல் :—அருவியைக் கொண்டு செல்லும் உகைவியின் அருகில் ஒரு காந்தப்புலம் ஏற்படுகிறது என்று அறிந்தோம். ஒரு செப்புக் கம்பியை வட்டமாக வளைத்து அதைப் படுக்கைவாக்கிலே பிடிக்கப்பட்ட ஒரு அட்டையில் செய்யப்பட்ட இரு துவாரங்கள் வழியாக நுழைத்து, (படம் 444)இல் கண்டவாறு, அட்டையின் தளமும் செப்பு வளையத்தின் தளமும் ஒன்றுக்கொன்று லம்பமாக இருக்கும்படி செய்யவும். வளையத்தில் ஏறக்குறைய சரிபாதி, அட்டையின் மேலும் மற்றொரு பாதி அட்டையின் கீழும் இருக்கவேண்டும்.



படம் 444

வளையத்தைத் தெற்கு வடக்காக இருக்கும்படி அட்டை

யைத் திருப்பிப் பிடிக்கவும். அட்டையின்மீது அரத் தூளைத் தூவியோ அல்லது ஒரு சிறு 'திசைகாட்டி'யின் உதவிகொண்டோ, செப்பு வளையத்தில் பலமான அருவி ஓடுவதால் ஏற்படும் காந்தப்புலத்தை வரையலாம்.



படம் 445

இது படங்கள் 444, 445-களில் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. அருவியை எதிர்த்திசையில் மாற்றிச் செலுத்தினால், சக்திவரைகளின் திசையும் மாறிவிடுகிறது. வளையத்தின் மையத்துக்கருகில் 'சக்தி-வரைகள்' வளையத்தின் தளத்திற்கு லம்பமாக இருக்கின்றன. அந்த இடத்திலே ஒரு திசைகாட்டியை வைத்தால் அதிலுள்ள காந்த-ஊசி திரும்பி நிற்பதை அறியலாம். மற்றும் கீழ்க்கண்டவற்றால் காந்த ஊசியின் விலக்கம் அதிகமாகிறதென்பதைப் பரிசோதனையால் அறியலாம்:

(1) வளையத்தின் சுற்றுகளை அதிகப்படுத்தல்

(2) வளையத்தின் ஆரத்தைக் குறைத்தல்

(3) அருவியின் பலத்தை அதிகப்படுத்துதல்.

எனவே, ஒரு அருவியைக்கொண்டு செல்லும் உகைவியின் அருகிலுள்ள ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் காந்தப்புலத்தின் வலிமை, (1) அருவியின் வலிமையையும் (2) உகைவியிலிருந்து அப்புள்ளியிலிருக்கும் தூரத்தையும் சார்ந்திருக்கிறது என்று அறிகிறோம்.

ஒரு இடத்தில் ஏற்படும் காந்தப்-புலத்தின் வலிமை அதை உண்டாக்கும் அருவியின் வலிமைக்கு நேர் விகிதமானது. அந்த இடத்திற்கும் அருவிக்கும் உள்ள தூரத்தின் வர்க்கத்திற்கு எதிர் விகிதமானது என்று கண்டிருக்கிறார்கள்.

இவற்றை ஆதாரமாகக் கொண்டு 'ஆம்பியர்' என்பவர் அருவியின் வலிமையை வரையறை செய்து அளவிட ஓர் முறையை ஏற்படுத்தினார். அதாவது ஒரு மின்னருவியின் வலிமை, அது உண்டாக்கும் காந்தப் புலத்தின் வலிமையினால் வரையறுக்கப்படுகிறது. ஒரு அலகு அருவியின் இலக்கணம் வருமாறு:—

ஒரு சேண்டிமீடர் ஆரமுள்ள ஒரு வட்டத்தில், ஒரு சேண்டிமீடர் நீளமுள்ள வட்டத் துண்டில் ஓடும் ஒரு அருவி, அவ்வட்டத்தின் மையத்தில் ஒரு அலகு காந்தப்புலத்தை ஏற்படுத்தினால், அவ்வருவி ஒரு அலகு அருவி எனப்படும்.

இது செ. கி. செ. திட்டத்தின் அருவி அலகு என்றும், மின்காந்த அருவி அலகு என்றும் சொல்லப்படும். இது மிகப் பெரிதாக இருப்பதால், இதைக் கையாளாமல், இதில் பத்தில் ஒரு பங்கு கொண்ட ஒரு அலகைக் கையாளுகிறார்கள். அது 'ஆம்பியர்' எனப்படும். r செ. மீ. ஆரமும், n சுற்றுகளும் கொண்ட

ஒரு சுருளில் i ஆம்பியர் அருவி ஓடினால், வளையத்தின் மத்தியில் ஏற்படும் காந்தப்புலத்தின் வலிமை வருமாறு:

$$\frac{2\pi r n i}{10 r^2} = \frac{2\pi n i}{10 r}$$

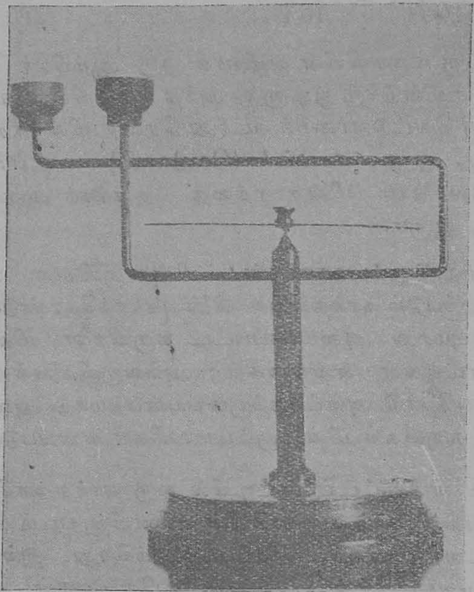
ஒரு உகைவியின் வழியாக ஒரு ஆம்பியர் அருவி ஒரு செகண்டுக்கு ஓடினால், அந்த உகைவியின் ஏதேனுமொரு வெட்டுவாயைக் கடந்து சென்ற மின்சாரத்தின் அளவு, ஒரு 'கூலம்' (Coulomb) எனப்படும். இதுவே நாம் மின்சாரத்தை அளக்கக் கையாளும் அலகு ஆகும்.

மின்னேட்டமானிகள் :—மின்னருவிகளை அவற்றால் ஏற்படும் காந்தவியல் விளைவுகளைக்கொண்டு கண்டு பிடிக்குமாறு அமைக்கப்பட்ட கருவிகளை மின்னேட்டங்காட்டிகள் என்பார்கள்; அவ்வருவிகளைக் கண்டு பிடிப்பதோடு அளப்பதற்கும் பயன்படுமாறு அமைக்கப்பட்ட கருவிகள் மின்னேட்டமானிகள் எனப்படும்.

மின்னேட்டங் காட்டியில் ஒரு காந்த-ஊசி, செங்குத்தாய் நிற்கும் ஒரு ஊசியின் முனையில், படம் 446-இல் கண்டவாறு ஏற்றிவைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வூசியை மையமாகக்கொண்ட ஒரு கம்பிச் சுருள் இதைச் சூழ்ந்து இருக்கிறது. ஊசி காந்த-துருவகத்தின் தளத்தில் நிற்கும்போது, சுருளின் மேற்பாகமும் அடிப்பாகமும் ஊசிக்கு இணையாக இருக்கும். இச்சுருளின் வழியாக ஒரு மின்னருவி ஓடினால், அது காந்த ஊசியைத் தன்னிலையினின்று விலக்கித் திருப்பும். அருவி மிகவும் சிறியதாயினும் பல சுற்றுகள் கொண்ட சுருளைக் கொண்டு ஊசியில் பெரிய விலக்கத்தை உண்டாக்கி அருவியைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

பரிசமின்னேட்டமானியின் (Tangent Galvanometer) தத்துவம் :— ஒரு காந்த-ஊசியைத் தன்வய

மாக விட்டால், அது பூமியின் காந்தப்புலத்தினுல் தெற்கு வடக்காக நிற்கும். மற்ருெரு காந்தத்தை இத

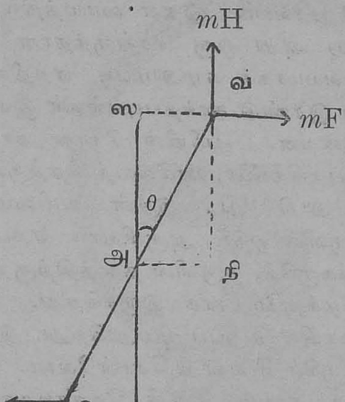


படம் 446

னருகில் கொண்டு வந்தால், அதனுடைய புலத்தினுல் ஊசியின் நிலை பாதிக்கப்படும். அது பயனிலைப் புலத்திற்குத் தக்கபடி தன் நிலையை மாற்றிக்கொள்ளும், ஒன்றுக்கொன்று லம்பமாக இருக்கும் இரண்டு சீரான புலங்களுக்குள்பட்ட ஒரு காந்த-ஊசியின் நிலையை. கீழ்க்கண்ட சமீகரணத்தால் குறிக்கலாம் என்று காண்போம்.

$$\frac{F}{H} = \text{Tan } \theta.$$

இதில் F, H என்பன முறையே ஒவ்வொரு புலத்தின் வலிமையாகும். θ என்பது ஊசியின் இருசுக்கும் H என்ற புலத்தின் திசைக்கும் இடைப்பட்ட கோணம். வதே என்பது காந்த ஊசியென்றும், அதன் துருவ வலிமை m என்றும் கொள்வோம். வடதுருவம் இரு சக்திகளுக்கு உட்பட்டிருக்கிறது. (1) H-க்கு இணையாக m H டைன்கள் (2) F-க்கு இணையாக m F டைன்கள். (படம் 447). தென் துருவம் எதிர்த்திசையில் இதேபோன்ற இரு சக்திகளுக்கு உட்பட்டிருக்கிறது. இந்நான்கு சக்திகளும் சேர்ந்து ஒன்றுக்கொன்று எதிரான திசையை நோக்கும் இரண்டு இரட்டைகளாகி (Couples), ஊசியைச் சமநிலைமையில் இருத்துகின்றன. அ-வைச் சுற்றி திருப்பியல்கள் கண்டால்



படம் **447**

$$m\,\mathrm{F} \times அஸ = m\,\mathrm{H} \times அநி \text{ அல்லது}$$

$$\frac{\mathrm{F}}{\mathrm{H}} = \frac{அநி}{அஸ} = \frac{ஸவ}{அஸ} = \mathrm{Tan}\,\theta.$$

ஆகையால் $\frac{\mathrm{F}}{\mathrm{H}} = \mathrm{Tan}\,\theta.$

H என்பது எப்போதும் பூமியின் காந்தப்புலத்தின் படுக்கைப் பிரிநிலையையே குறிக்கும்.

r செ. மீ. ஆரம் கொண்டதும், n வளையங்கள் கொண்டதுமான ஒரு கம்பிச் சுருளின் வழியாக, c ஆம்பியர் உள்ள ஒரு அருவி ஓடிக்கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். இதன் தளம் பூமியின் காந்த-துருவகத்தின் தளத்திற்கு இணையாக இருக்கும்படி, இதைச் செங்குத்தாக நிறுத்துவோம். இதன் மையத்தில் ஒரு சிறு காந்த ஊசியை, அது ஒரு செங்குத்தான இருசைச் சுற்றித் தன்வயமாகச் சுழலும்படி ஏற்றிவைப்போம். இப்போது இரண்டு காந்தப்புலங்கள் இவ்வூசி மீது தொழிற்படுகின்றன. பூமியின் சீரான காந்தப் புலத்தின் படுக்கைப் பிரிநிலை, ஊசியைத் தெற்குவடக்காக நிறுத்த முயலுகிறது. இதன் வலிமை H ஆகும். கம்பிச் சுருளில் ஓடும் அருவியால் ஏற்பட்ட காந்தப்புலம், ஊசிக்கருகில், சுருளின் தளத்திற்கு லம்பமாக அதாவது கிழக்குமேற்காக இருக்கிறது. இது ஊசியைத் தன் திசையில் திருப்ப முயலுகிறது. இதன் வலிமை ஊசிக்கு அருகில் F என்று கொள்வோம். ஊசி வேண்டியவரை சிறியதாயும், சுருள் வேண்டியவரை பெரிதாயும் இருப்பின், இச்சுருளால் ஊசிக்கருகில் ஏற்படும் காந்தப்புலமும் சீரான தென்றே கொள்ளலாம். காந்தஊசியோ இவ்விரண்டு புலங்களின் திசைகளுக்கும் இடையே சமநிலைமையடைந்து நிற்கிறது. இப்போது ஊசியின் இருசுக்கும் பூமியின் புலமாகிய H-க்கும் இடைப்பட்ட கோணம் θ என்று கொள்வோம். இவ்வாறுயின்

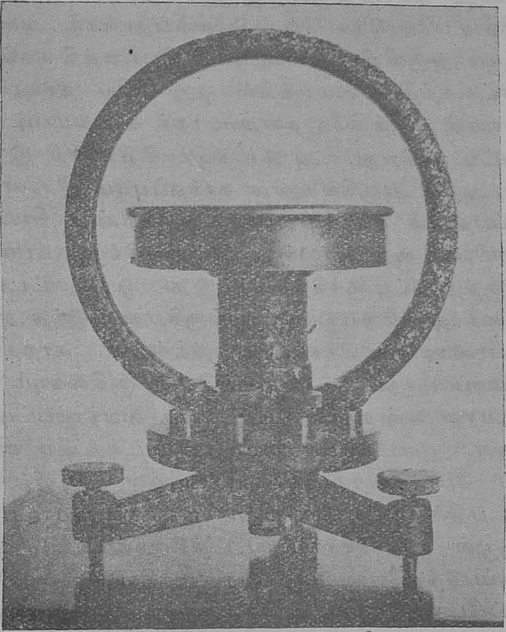
$$\frac{F}{H} = \operatorname{Tan}\theta \text{ அல்லது } F = H \operatorname{Tan}\theta.$$

ஆனல் F-ன் மதிப்பு $\dfrac{2\pi n c}{10 r}$ என்று நாமறிவோம்.

$$\text{ஆகையால் } H \tan\theta = \frac{2\pi n c}{10 r}$$

$$\text{எனவே } c = \frac{10 r H}{2\pi n} \operatorname{Tan}\theta.$$

இதில் அருவியின் வலிமை விலக்கத்தின் tan-ஐ சார்ந்திருப்பதால், இதை யடிப்படையாகக்கொண்டு



படம் 448

அமைக்கப்பட்ட கருவி பரிசமின்னேட்டமானி எனப் படும். இதில் ஒரு வட்டவடிவமான சட்டகத்தின்மீது குறித்த எண்களுள்ள உறையிட்ட கம்பிச்சுருள் சுற்றப் பட்டிருக்கும். (படம் 448)இல் கண்டிருக்கும் கருவி

யில் நான்கு பிடிப்புத் திருகுகள் இருக்கின்றன. முதல் இரண்டு திருகுகளுக்கிடையே இரண்டு சுற்றுகள் கொண்ட தடித்த கம்பி இருக்கிறது. அடுத்த இரண்டு திருகுகளுக்கிடையே 50 சுற்றுகள் கொண்ட மெல்லிய கம்பிச்சுருளிருக்கிறது. கடைசி இரண்டு திருகுகளுக்கிடையே இன்னும் மெல்லியதான 500 சுற்றுகள் கொண்ட கம்பிச்சுருள் இருக்கிறது. நாம் எந்தச் சுருளை உபயோகிக்க வேண்டுமென்பது நாம் அளக்கப் போகும் அருவியின் வலிமையைப் பொறுத்திருக்கிறது. இச்சட்டகத்தின் மையத்தில் ஒரு சிறிய காந்தஊசி, படுக்கைத் தளத்திலே தன்வயமாகச் சுழலும்படி பூட்டப்பட்டிருக்கிறது. அது மிகவும் சிறியதாய் இருப்பதால், அதன் அருகில் உள்ள காந்தப்புலம் சீரானதாய் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். ஒரு நீண்ட மெல்லிய அலுமினிய சூசிகை இந்தக் காந்தஊசிக்கு லம்பமாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இது ஒரு வட்டமான படுக்கை அளவியை ஒட்டி இயங்குகிறது. இந்த அளவியில் பாகைகள் குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. காற்றினால் அலைக்கப்படாதபடி காந்த-ஊசியும் சூசிகையும் ஒரு வட்டமான கண்ணாடிப்பெட்டிக்குள் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. புடைபெயர்ச்சியால் ஏற்படக்கூடிய பிழையைப் போக்குவதற்காக, சூசிகையின் அடியில் ஒரு ஆடி பதிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இக்கருவியை உபயோகிக்குமுன் ஒரு சாராய மட்டத்தினுதவியால் அதை வகைப்படுத்தவேண்டும். இதற்காகவே இக்கருவியின் அடிப்பீடத்தில் மூன்று திருகுகள் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

சுருளைத் திருப்பி, அதன் தளம் காந்த துருவகத்திலே நிற்குமாறு செய்யவேண்டும். காந்த துருவகத்தைக் காந்தஊசி நிற்கும் திசையினால் அறியலாம். எனவே, சுருளின் தளம் காந்தஊசிக்கு இணையாக இருக்

கும்படி வைக்கவேண்டும். வட்டிலைத் திருப்பி, அதில் கண்ட பூஜ்ஜியப் பிரிவைக் காந்த-ஊசியோடு இணைக்கப்பட்ட சூசிகை காட்டும்படி செய்யவும். சுருளின் வழியாக மின்னருவியைச் செலுத்தவும். காந்த-ஊசி ஒரு புறமாய்த் திரும்பி அசையாது நின்றவுடன் வட்டிலை மெதுவாக விரலினால் தட்டவும். இதனால் காந்த-ஊசி உராய்ந்து சிக்கிக்கொண்டிருந்தால் அச்சிக்கல் நீங்கும். பிறகு சூசிகையின் வாசகத்தைக் குறித்துக் கொள்ளவும். அதை வாசிக்கும்போது, சூசிகையும் அடியில் பதிக்கப்பட்ட ஆடியில் தோன்றும் அதன் படிவமும், ஒன்றின் கீழொன்று முற்றும் பொருந்தும்படியாகக் கண்ணை வைத்துக்கொள்ளவும். இதனால் புடைபெயர்ச்சி வழு ஏற்படாது. சூசிகை இரு முனைகளின் வாசகங்களையும் கண்டு அவற்றின் பொதுமை காணவும். இதனால், சூசிகையின் சுழல் இருசும் வட்ட அளவியின் மையமும் ஒன்றுபடாமையால் ஏற்படும் வழு நீங்கும். ஒரு மாற்றகத்தால் மின்னோட்டமானியில் அருவி திசை மாறியோடச் செய்யவும். இப்போது முன் கண்ட விலக்கமே எதிர்த்திசையில் ஏற்படவேண்டும். இல்லையானால் சுருள் காந்த-துருவகத்திலே வைக்கப்படவில்லை என்று அறிந்து, அதைத்திருத்தி அமைக்கவும். இவ்வேற்றுமையை முற்றும் போக்க முடியவில்லையானால், இருதிசைகளிலும் ஏற்படும் விலக்கங்களின் பொதுமையைக் கண்டு, அதைப் பின்கண்ட வாய்பாட்டிலே θ-வுக்கு ஈடு செய்யவும்.

$$c = \frac{10\, r\, \mathrm{H}}{2\, \pi\, n} \tan\ \theta.$$

அருவியை ஆம்பியர் அளவில் அடைவதற்காக விலக்கத்தின் tan-ஐப் பெருக்கவேண்டிய குணியம் (Reduction factor) மின்னோட்டமானியின் பெருக்க

குணியம் எனப்படும். அதை k என்று குறித்தால் $c = k \tan\theta$. எனவே

$$k = \frac{10\,r\,\mathrm{H}}{2\,\pi\cdot n}$$

இதில் $\frac{2\,\pi\,n}{10\,r}$ என்பது மின்னோட்டமானியின் அமைப்பையே சார்ந்தது. இது மின்னோட்டமானியின் மாறிலி எனப்படும். அதை G என்று குறித்தால்

$$c = \frac{\mathrm{H}}{\mathrm{G}} \tan\theta.$$

பரிச மின்னோட்டமானியைக் கொண்டு அருவிகளை அளக்கும்போது விலக்கம் மிகச்சிறிதாகவோ அல்லது மிகப்பெரிதாகவோ இருத்தல் கூடாது. விலக்கம் மிகச் சிறியதாயின் அதை அளக்கும்போது ஏற்படும் பிழை மிகப்பெரிதாகும். பெரிய கோணங்களின் tan. அதிகரிக்கும் வேகம் மிகப்பெரிது. ஆகையால் விலக்கம் மிகப்பெரிதாயின் அருவியின் மாறுபாட்டினால் ஏற்படும் விலக்க மாறுபாடு மிகச்சிறியதாகும். எனவே, அவற்றை அளக்கும்போது ஏற்படும் பிழையும் பெரிதாகும். அதனால் இந்த மின்னோட்டமானியை உபயோகிக்கும்போது 45°க்கு அருகில் வருமாறு செய்துகொள்ளவேண்டும். அது எப்போதும் 15°—65° என்னும் இந்த எல்லைகளை மீறிப்போதல் கூடாது.

அருவியையும் பரிசமின்னோட்டமானியின் விலக்கத்தையும் சேர்ப்பதாகிய

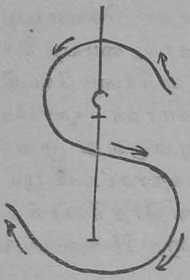
$\tan\theta = \frac{2\,\pi\,n\,c}{10\,r\,\mathrm{H}}$ என்னும் சமீகரணத்தில் இருந்து விலக்கத்தை மூன்று வகைகளில் அதிகரிக்கச் செய்யலாம் என்று அறிகிறோம். (1) சுருளில் உள்ள சுற்றுகளை அதிகரிப்பது (2) சுருளின் ஆரத்தைக் குறைப்

பது (3) H-ஐக் குறைப்பது. ஆனால் இம்மூன்று முறைகளினாலும் ஒரு கருவியின் நுணுக்கத்தை நாம் வேண்டியவரை அதிகரித்துவிட முடியாது. சுருளில் உள்ள கம்பியின் சுற்றுகளை அதிகரித்தால் அதில் ஓடும் அருவிக்குத் தகைவு அதிகமாகிறது. ஆகையால் அருவியின் பலத்தைக் குறைக்காமல் இதைச் செய்யமுடியாது. சுருளின் ஆரத்தைக் குறைத்தால், மையத்தில் காந்தஊசிக்கு அருகில் காந்தப்புலத்தின் சீர்மை கெட்டு விடும். அதனால் ஆரத்தையும் அதிகமாகக் குறைக்க முடியாது. 'தாம்ஸன்' என்பவர் மூன்ருவது முறையைக் கையாண்டார். இதில் ஒரு காந்தச்சட்டம் பூமியின் காந்தத்தளத்திற்கு இணையாக, எதிர்த்திசையில், மானியின்மீது வைக்கப்படும். இதனால் H குறைந்து கருவியின் நுணுக்கம் அதிகரிக்கிறது.

இக்கருவியின் நுணுக்கத்தைப் பின்னும் அதிகரிக்க ஒரு ஒளியியல் முறையைக் கையாளுவதுண்டு. மிகச்சிறியதாகிய காந்தஊசி ஒரு சிறிய குழியாடியின் பின்புறத்தில் ஒட்டப்பட்டு, ஒரு மெல்லிய பட்டு இழையினால் செங்குத்தான சிறிய சுருளின் மையத்தில் தொங்கவிடப்படும். ஒரு மின்சார விளக்கிலிருந்து ஏறக்குறைய இணையான ஒரு ஒளிச்சட்டம் ஆடியின் மீது படுக்கைவாக்கிலே விழுந்து, பிரதிபலித்து, அதன் சாயல் சுமார் ஒரு மீட்டர் தூரத்தில் படுக்கைவாக்கிலே பிடிக்கப்பட்ட ஒரு மீட்டர் அளவியின்மீது விழும். காந்தஊசி திரும்பும்போது, ஒளிவட்டம் அளவியின் மீது நகரும் தூரத்தை அளவிக்கும் ஆடிக்கும் உள்ள தூரத்தால் வகுக்க, காந்தஊசி திரும்பிய கோணத்தின் இருமடங்கை அடையலாம்.

இரட்டைஊசி முறை (Astatic pair):—மின்னோட்டமானியின் நுணுக்கத்தை அதிகரிக்கும் இம்முறைக்கு இரட்டை-ஊசி முறை என்று பெயர். ஏறக்

குறைய சமமான பலமுடைய இரண்டு காந்த ஊசிகள், ஒன்றின் மேலொன்றாய் இரண்டின் இருசுகளும் இணையாக இருக்கும்படி இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஆனால் இவை ஒன்றுக்கொன்று எதிர்த்திசையில் இருக்கும். ஒரே கம்பி இரண்டு வளையங்களாகி இவற்றை (படம் 449)இல் கண்டபடி சூழ்ந்து வருகிறது. இதில் அருவி ஓடும்போது ஒரு ஊசியைச் சுற்றி வலம்புரியாகவும் மற்றொரு ஊசியைச் சுற்றி இடம்புரியாகவும் அருவி சுழலும். இதனால் இவற்றால் ஏற்படும் சுழல் இரட்டைகள் ஒரே திசையில் திருப்புகின்றன. இந்த முறையினால் பூமிக்காந்தத்தளத்தின் பிரிவு

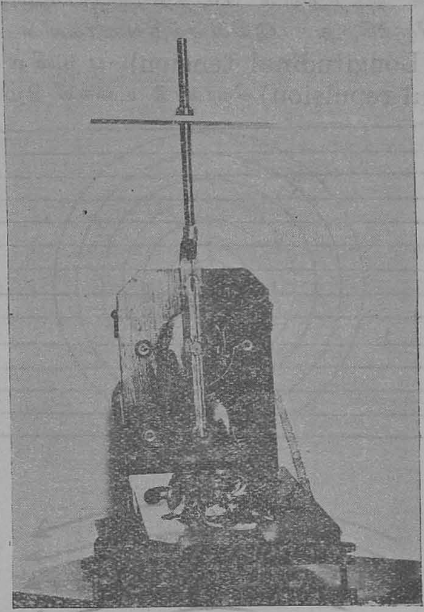


படம் 449

நிலையாகிய கட்டுப்படுத்தும் இரட்டையின் (Controlling couple) பலம் குறைந்து, அருவியோட்டத்தால் ஏற்பட்ட காந்தப்புலத்தின் சக்தியாகிய விலக்கும் இரட்டையின் (Deflecting couple) பலம் அதிகப்படுவதால், கருவியின் நுணுக்கம் அதிகமாகிறது. 'தாம்ஸன்' மின்னோட்டமானியில் இந்த இரட்டைஊசியே உபயோகிக்கப்படுகிறது. (படம் 450).

இயங்கு சுருள் மின்னோட்டமானியின் தத்துவம் :— மின்னருவியைக்கொண்டு செல்லும் ஒரு உகைவியின் அருகே ஒரு மின்புலம் ஏற்படுவதாகக் கூறினோம். இப்புலத்திலே ஒரு காந்ததுருவம் நின்றால் அதன்மீது ஒரு சக்தி தொழிற்படும். இச்சக்தியின் எதிர்ச்செயல் அருவியைக்கொண்டு செல்லும் உகைவியின்மீது தாக்க வேண்டும். எனவே, ஒரு காந்தப்புலத்திலே மின்னருவியோடும் ஒரு உகைவி நின்றால், அதன்மீது ஒரு சக்தி தொழிற்படுமென்றாகிறது. இதையே, முன்பிருந்த

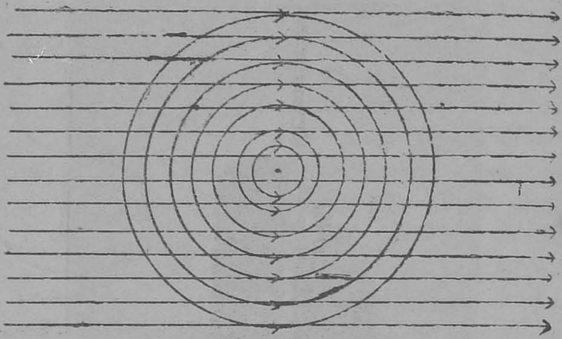
காந்தப்புலத்திற்கும் உகைவியில் ஓடும் மின்னருவியால்



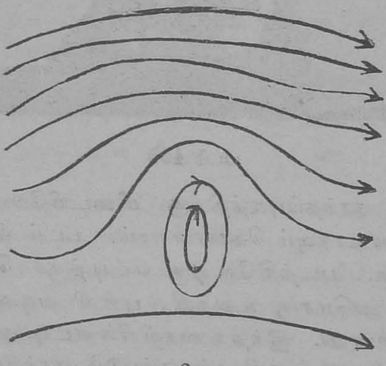
படம் 450

ஏற்பட்ட காந்தப்புலத்திற்கு மிடையிலே நிகழ்ந்த தொழிற்பாடாகவும் கொள்ளலாம். படம் 451 (1)-ஐப் பார்க்கவும். படத்திலே ஒரு ஏட்டிற்குச் செங்குத்தாகச் செல்லுமொரு உகைவி, புள்ளி வடிவாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த உகைவியில் ஏட்டினுள் புகுந்து செல்லுமொரு அருவியால் ஏற்படும் காந்தப்புலம் வட்டங்களாக இருக்கின்றன. நேர்க்கோடுகளாக உள்ள சக்திவரைகள் மற்றொரு காந்தப்புலத்தினால் ஏற்பட்ட காந்தப்புல வரைகள். இந்த இரண்டு காந்தப்புலங்

களின் பரஸ்பர தொழில் முறையால் ஏற்படும் பயனிலைப்புலம் அடுத்துள்ள படத்திலே (படம் 451 (2)) காட்டியிருக்கிறது. இதில் சக்திவரைகளின் நெடும்பிகுவும் (Longitudinal tension) புறவிலக்கமும் (Lateral repulsion) கொண்டு உகைவி கீழ்நோக்கித்



1



2

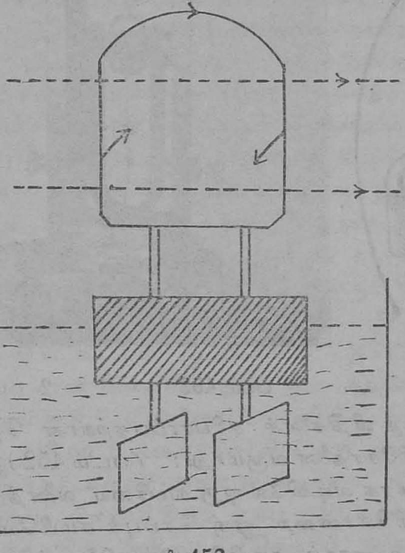
படம் 451

தள்ளப்படு மென்பதைக் காணலாம். அது தள்ளப்படும் திசை சக்திவரைகளின் திசைக்குக் குறுக்கே இருப்

பதையும் கவனிக்கவும். இவ்வாறு உகைவியின்மீது தொழிற்படும் சக்தியின் பரிமாணத்தையும் திசையையும் காணும் விதிகள் வருமாறு :—

(1) l அலகு நீளம் கொண்டதொரு உகைவியிலே c அலகு கொண்ட அருவி ஓடுவதாகக் கொள்வோம். அந்த உகைவி H வலிமை கொண்ட காந்தப்புலத்தின் குறுக்கே நின்றால் அதன்மீது தொழிற்படும் சக்தி lcH அலகுகள் கொண்டதாக இருக்கும்.

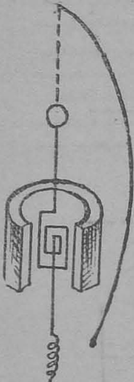
(2) இடது கையின் பெருவிரல், சுட்டுவிரல், நடுவிரல் ஆகிய மூன்றையும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குறுக்



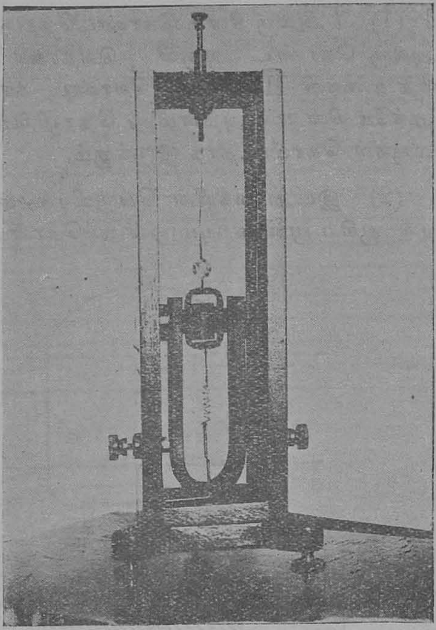
படம் 452

கான மூன்று திசைகளைக் காட்டச்செய்யவும். நடுவிரல் மின்னருவியின் திசையையும் சுட்டுவிரல் காந்தப்

புலத்தின் திசையையும் காட்டினால், பெருவிரல் உகைவி யின்மீது தொழிற்படும் சக்தியின் திசையைக் காட்டும்.



1



2

படம் 453

இந்த விதிகளைச் சரிபார்ப்பதற்கான தொரு எளிதான பரிசோதனை வருமாறு: (படம் 452)இல் கண்டவாறு நேரக வடிவிலே ஒரு கம்பியை வளைத்து, அதன் முனைகளிலொன்றை ஒரு செப்புக் கம்பியோடும் மற்றொன்றை நாகக் கம்பியோடும் பிணைத்து, இவ்விரு கம்பிகளையும் ஒரு பெரிய அடைப்பான் துண்டிலே செருகி, இதை வளாவிய கந்தகக் காடியிலே, நேரக வடிவான கம்பிச்சுருள் நிமிர்வையாக நிற்கும்படி

மிதக்கவிடவும். இது முதலில் எத்திசையில் நின்றாலும் பிறகு சுழன்று, காந்தத்துருவகத்திற்குக் குறுக்கே கிழக்குமேற்காக நிற்பதைக் காணலாம்.

இயங்குசுருள் மின்னோட்டமானி :—(படம் 453 (1), (2)). இதிலே பல சுற்றுகள் கொண்டதொரு மெல்லிய உறையிட்ட கம்பிச்சுருள் ஒரு தீ-வெண்கல (Phosphor bronze) இழையினின்றும் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது. சுருளின் ஒரு முனை இந்த இழையிலே தொகுக்கப்பட்டுள்ளது. மற்றொரு முனை ஒரு சிறிய வில்லோடு தொடுக்கப்பட்டிருக்கும். இச்சுருள் ஒரு குளம்புக் காந்தத்தின் துருவங்களினிடையே நிமிர்ந்து தொங்கும். இதனுட் புகுந்துசெல்லும் காந்த-வரைகளின் செறிவு மிகுவதற்காக, இச்சுருளினுள்ளே தேனிரும்பு உள்ளீடொன்றும் (Core) உண்டு. இவையெல்லாம் மேலேயுள்ள திருகுதலையினின்றும் (Torsion head) தொங்குகின்றன. இதைத் திருகி அருவி ஓடாதபோது சுருள் காந்தப்புலத்திற்கு இணையாக நிற்குமாறு வைக்கப்பட்டிருக்கும். இதன் வழியாக ஒரு அருவி சென்றால், அது சுழன்று, காந்தப்புலத்திற்குக் குறுக்கே நிற்க முயலும். தொங்கும் இழையிலேற்படும் முறுக்கு இதைத் தடுக்கும். இதனால் சுழற்றும் இரட்டையும் முறுக்கின் இரட்டையும் சமமாகும்படியான நிலையிலே இச்சுருள் சுழன்று நிற்கும். 'தாம்ஸன்' மின்னோட்டமானியில் செய்ததுபோல ஒரு ஒளி வட்டத்தைக்கொண்டு ஒரு அளவியினுதவியால், இந்தச் சுழற்சி அல்லது விலக்கம் அளவிடப்படும். அருவி விலக்கத்திற்கு ஏற்ப இருக்கும். இதிலுள்ள காந்தத்தின் வலிமை அதிகமாய் இருப்பதால் பூமியின் புலத்திலேற்படும் மாறுபாடுகள் இதைப் பாதிப்பதில்லை. எனவே, இக்கருவியை எத்திசையில் வேண்டுமானாலும் திருப்பிவைத்து உபயோகிக்கலாம்.

ஆம்பியர்மானிகள் — மின்மட்டமானிகள் :—ஆம்பியர்மானி என்பது ஒரு மின்னோட்டமானியே ஆகும். இதில் செல்லும் அருவியை நேரே சூசிகையொன்று ஒரு அளவியின்மீது காட்டும். இந்த அளவியில் ஆம்பியர்களும் அதன் பின்னங்களும் காட்டப்பட்டிருக்கும். பெரிய அருவிகளை அளக்கவேண்டுமானால் இந்தக் கருவியின் துருவங்களுக்கிடையே ஒரு கிளை வழி (Shunt) சேர்க்கப்படும். இதனால் மொத்த அருவியில் ஒரு சிறு பாகமே கருவியின் மூலமாகச் செல்லும். நமக்கு வேண்டிய அளவுக்கு விலக்கம் ஏற்படும்படி, தகுந்த கிளை வழியை தெரிந்தெடுத்துச் சேர்க்கவேண்டும். நாம் அம்மானியை அளக்கவேண்டிய அருவி செல்லும் மண்டலத்தினிடையிலே இணைக்கவேண்டியிருப்பதால், அதன் தகைவு மிகக் குறைவாய் இருத்தல்வேண்டும். இல்லாவிடில் ஆம்பியர்மானியின் தகைவால் அருவியின் பலம் மாறுபடும். அம்மானியால் ஒரு அருவியை அளக்கும்போது அவ்வருவி செல்லும் மண்டலத்தில் அதைத் தொடுத்தே பிணைக்கவேண்டும் என்பதை நினைவில் வைக்கவேண்டும்.

மின்மட்டமானி :—மின்மட்டமானி என்பது அதன் துருவங்கள் பிணைக்கப்பட்ட இரு புள்ளிகளுக்கிடையே உள்ள நிலைப்பு-வேற்றுமையை அளக்கப் பயன்படும் ஒரு சாதனமாகும். இம்மானியை நாம் நிலைப்புவேற்றுமையை அளக்கும் மண்டலத்தின் பாகத்திற்கு இணையாகவே பிணைக்கவேண்டும். ஆம்பியர்மானியாக உபயோகிக்கக்கூடிய மின்னோட்டமானிகளையே மின்மட்டமானிகளாகவும் உபயோகிக்கலாம். இவ்விரண்டிற்குமுள்ள வேற்றுமையாவது :—ஆம்பியர்மானியின் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட தகைவு மிகவும் சிறிது. மின்மட்டமானியின் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட தகைவு மிகவும் பெரிது.

உதாரணம் 1. ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியின் வழியாக 2 ஆம்பியர் கொண்ட அருவி பாயும்போது 30° விலக்கம் காணப்பட்டது. வேறொரு மின்னியல் பரிசோதனையிலே அதே கருவியில் 45° விலக்கம் காணப்பட்டதானால் அப்போது மானியின் வழியாகச் செல்லும் அருவி யாதாக விருக்கும்?

பரிச மின்னோட்டமானியின் வழியாகச் செல்லும் அருவி அதிலே காணும் விலக்கத்தின் tan-க்கு ஏற்பவுள்ளது.

அதாவது $c \propto \tan\theta$.

அல்லது $\dfrac{c_1}{c_2} = \dfrac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}$

கணக்கிலே கண்ட இராசிகளை இதில் இடவே

$\dfrac{2}{c_2} = \dfrac{\tan 30^\circ}{\tan 45^\circ}$ அல்லது $c_2 = \dfrac{2\tan 45^\circ}{\tan 30^\circ} = 3{\cdot}46$

எனவே 45° விலக்கம் மானியில் ஏற்பட்டபோது அதன் வழியே சென்ற அருவி 3·46 ஆம்பியர் கொண்டதாகும்.

உதாரணம் 2. ஒரே நீளமுள்ள இரண்டு கம்பிகள் சுருள்களாகச் செய்யப்பட்டு இரண்டு பரிசமின்னோட்டமானிகளிலே கையாளப்படுகின்றன. இவற்றைத் தொடுத்து ஒரு அருவியைச் செலுத்த, அதனால் ஏற்பட்ட விலக்கங்கள் முறையே 30°, 45° ஆயின. இரண்டு சுருள்களின் ஆரங்களின் தகவைக் கணக்கிடுக.

(லண்டன் : ஜுன், 1930)

சுருள்களின் ஆரங்கள் முறையே r_1, r_2 என்றும், சுருள்களின் எண்ணிக்கை n_1, n_2 என்றும் கொள்வோம்.

இரண்டு மின்னேட்டமானிகளும் தொடுத்திருப்ப தால் அவற்றின் வழியாக c என்னும் ஒரே அருவி செல்லும்.

$$\text{ஆகையால் } c = \frac{10\, r_1\, H}{2\, \pi\, n} \tan \theta_1 \ldots\ldots\ldots (1)$$

$$c = \frac{10\, r_2\, H}{2\, \pi\, n} \tan \theta_2 \ldots\ldots\ldots (2)$$

முதல் இணைவை r_1 ஆல் பெருக்கி வகுத்து இரண் டாவது இணைவை r_2 ஆல் பெருக்கி வகுக்கவே

$\frac{10\, r_1^2\, H}{2\, \pi r_1\, n_1} \tan \theta_1 = \frac{10\, r_2^2\, H}{2\, \pi\, r_2\, n_2} \tan \theta_2$ ஆகும். இவற் றிலே கம்பியின் மொத்த நீளங்கள் சமமாகையால் $2\pi\, r_1\, n_1 = 2\pi\, r_2\, n_2$ ஆகும். மேலே கண்ட இணை விலே பொதுவான உத்திகளை நீக்கிவிடவே,

$r_1^2 \tan \theta_1 = r_2^2 \tan \theta_2$ ஆகும்.

இதை $\frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1}$ என்று மாற்றலாம்.

இதிலிருந்து $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1}}$

கணக்கிலே கண்ட ராசிகளை ஈடிடவே

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{\tan 45}{\tan 30}} = \frac{1{\cdot}316}{1}$$

எனவே இரண்டு சுருள்களின் ஆரங்களது தகவு $1 : 1{\cdot}31$ ஆகும்.

உதாரணம் 3. ஓரிடத்திலே H = ·38. செ. கி. செ. அலகுகள். இங்கே ஒரு பரிசமின்னேட்டமானி யிலே 0·001 ஆம்பியர் கொண்ட அருவி பாயும்போது 1· விலக்கம் ஏற்பட்டது. மானிச்சுருளின் ஆரம் 5

செ. மீ. அதிலே கம்பி எத்தனை சுற்றுகள் இருக்கு மென்று காண்க.

(ஆந்திரா : மார்ச்சு, 1930)

மானியின் வாய்பாடு

$$C = \frac{10\, r\, H}{2\, \pi\, n} \tan \theta$$

இதில் C என்பது மின்னருவி. H என்பது பூமியின் படுக்கைப்புலம். r என்பது சுருளின் ஆரம். θ என்பது விலக்கம். இவற்றை கணக்கில் கண்ட இராசிகளில் ஈடிடவே

$$\cdot 001 = \frac{10 \times 5 \times \cdot 38}{2\, \pi\, n} \times \cdot 0175$$

$$\text{எனவே } n = \frac{10 \times 5 \times \cdot 38 \times \cdot 0175}{2 \times 3 \cdot 14 \times \cdot 001} = 52 \cdot 29.$$

எனவே, அச்சுருளில் 52 சுற்றுகள் (தோராயமாக) இருந்திருக்கவேண்டும்.

வினுக்கள்

1. வட்டமானதொரு கம்பிச் சுருளிலே அருவி பாய்வதால் ஏற்படும் காந்தப்புலத்தின் இயல்பை விளக்குக. அருவியின் மின்னியல்-காந்த அலகுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

(ரங்கூன் : 1932)

2. ஒரு அருவியின் வலிமையைத் தனியியல் அளவுத் திட்டத்திலே அளவிடுவதற்காகப் பரிசமின்னோட்டமானியைக் கையாளும் முறையை விளக்குக.

(சென்னை : செப். 1923)

3. மின்னருவியின் தனியியல் செ. கி. செ. அலகுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

காந்த துருவகத்திலே நிறுத்தப்பட்ட 20 சுற்றுகள் கொண்டதொரு வட்டமான கம்பிச்சுருளின் வழியாக 1·5 ஆம்பியர் கொண்ட அருவி பாய்கிறது. இதன் மையத்திலே வைக்கப்பட்டதொரு சிறு காந்தஊசி 45° தூரம் விலகுகிறது. இச்சுருளின் ஆரத்தைக் கணக்கிடுக. இந்த கணக்கிட்டிலே கையாளும் வாய்பாட்டினை வடித்துக்காட்டுக.

(சென்னை : செப். 1931)

4. மின்னருவிகளை அளப்பதற்காக ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியை எவ்வாறு தயார்செய்து, சரிப்படுத்தி வைக்கவேண்டுமென்று எடுத்துக்கூறுக.

(லண்டன் : ஜூலை, 1930)

5. ஆய்வுச்சாலையிலே கையாளப்படும் ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியை வருணித்து, அதைத் திருத்தி வைத்தபோது அதன் வழியாகச் செல்லும் அருவி, அதனுலேற்படும் விலக்கக் கோணத்தின் Tan-க்கு ஏற்பவுள்ளது என்று காட்டுக.

இரண்டு பரிசமின்னோட்டமானிகளிலே ஒரே எண்ணுள்ள கம்பிச்சுருள்கள் இருக்கின்றன. அவற்றின் விட்டங்கள் 1 : 3 என்னும் தகவிலே யுள்ளன. இவற்றைத் தொடரிலே பிணைத்து, அவற்றின் வழியாக ஒரு அளவியைச் செலுத்தினால் எதில் விலக்கம் அதிகமாக இருக்கும். ஒன்றின் விலக்கம் 45° ஆனால் மற்றொன்றின் விலக்கம் யாதாகும்?

(சென்னை : அக். 1920)

6. 'இயங்கு சுருள் மின்னோட்டமானி' ஒன்றை வருணித்துக்கூறுக. அதன் நுணுக்கம் எந்த இராசிகளைச் சார்ந்திருக்கிறது.

(ஆக்ஸ் : 1935)

7. ஒரு இயங்கு சுருள் மின்னோட்டமானியின் அமைப்பையும் செயல் முறையையும் விவரித்துக் கூறுக. இயங்கு காந்தமின்னோட்டமானியைவிட இது எவ்வழியில் சிறந்ததாகும்?

(டெல்லி : 1933)

அத்தியாயம் 4

ஓமின் விதியும் அதைச் சரிப்பார்த்தலும்
(Ohm's law and its verification)

தண்ணீரைப் போலவே மின்சாரமும் உயர்ந்த மட்டத்திலிருந்து தாழ்ந்த மட்டத்திற்கு ஓடுவதாகக் கண்டோம். இந்த மட்ட வேற்றுமையே நிலைப்புவேற்றுமை எனப்படும். இதை ஓல்ட்டுகளில் அளப்பார்கள். இதன் வரைவிலக்கணத்தைப் பின்னால் காண்போம். மாருத நிலைப்பு வேற்றுமையுள்ள இரண்டு புள்ளிகளை ஒரு உகைவியால் பிணைத்தால், ஒரு சீரான அருவி அந்த உகைவியில் ஓடுகிறது. இந்த அருவியின் பலம் உகைவியின் பதார்த்தத்தாலாகும் தகைவையும், நிலைப்பு வேற்றுமையின் அளவையும் சார்ந்திருக்கிறது. இதைக் காணும் முறை வருமாறு :—

ஒரு கடத்தின் துருவங்களை ஒரு குறித்த அளவுள்ள செப்புக்கம்பியால், ஒரு மின்னோட்டமானி மூலமாகப் பிணைக்கவும். பிறகு செப்புக்கம்பிக்குப் பதிலாக அதே நீளமும் தடிப்பும் கொண்ட இருப்புக் கம்பியால் பிணைக்கவும். முதலில் இருந்ததைவிடப் பின்னால் அருவி குறைந்துவிட்டதென்பதை மானியின் விலக்கம் குறைந்துவிட்டதைக் கொண்டு காணலாம். செப்புக்கம்பியைவிட இருப்புக்கம்பியின் தகைவு அதிகமானது. மற்றும் ஒரு கடத்திற்குப் பதிலாக இரண்டு கடங்களைத் தொடுத்து மின்னியக்க சக்தியை இருமடங்காக்கினால், அருவியும் இரட்டிப்பதைக் காணலாம். மூன்று கடங்களைத் தொகுத்தால் அருவியும் மும்மடங்காகும். இதனால் இரு புள்ளிகளுக்கிடையே உள்ள நிலைப்பு வேற்றுமைக்குகந்தபடி அவற்றினிடையே

ஓடும் அருவியும் மாறுகிறது என்று அறிகிறோம். இந்த முடிபுகளே ஓமின் விதியில் கூறப்பட்டுள்ளன. அது வருமாறு :—

ஒரு குறித்த உகைவியின் சூடு மாறதிருக்க, அதன் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்புவேற்றுமைக்கும் அதில் ஓடும் அருவிக்கும் உள்ள தகவு ஓர் மாறிலியாகும்.

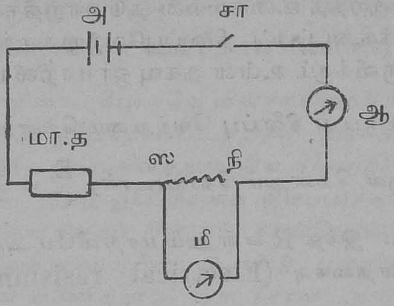
E என்பது நிலைப்பு வேற்றுமை யென்றும், C என்பது அருவி யென்றும் கொண்டால், $\frac{E}{C}$ = ஒரு மாறிலியாகிய R. இந்த R என்னும் மாறிலியே அந்த உகைவியின் மின்தகைவு (Electrical resistance) எனப்படும்.

தகைவின் அலகை நாம் மேற்கண்ட உறவினால் வரையறுக்கலாம். ஒரு உகைவியின் முனைகளுக்கிடையே ஒரு அலகு நிலைப்பு வேற்றுமை ஏற்பட்ட போது, அதில் ஒரு அலகு அருவி ஓடினால், அந்த உகையின் தகைவு ஒரு அலகுத் தகைவு எனப்படும். வழக்கத்தில் உள்ள அலகுத்தகைவு 'ஓம்' எனப்படும். ஒரு உகைவியின் முனைகளுக்கிடையே ஒரு ஓல்ட் நிலைப்பு வேற்றுமை ஏற்பட்டபோது, அதில் ஒரு 'ஆம்பியர்' அருவி ஓடினால், அந்த உகைவியின் தகைவு ஒரு 'ஓம்' எனப்படும். இவ்வாறாக ஒரு தகைவியின் முனைகளுக்கிடையே E 'ஓல்ட்' நிலைப்பு வேற்றுமையால் அதில் C 'ஆம்பியர்' அருவி ஓடினால், அந்த உகைவியின் தகைவாகிய R என்பது $\frac{E}{C}$-க்குச் சமமாகும்.

தகைவியின் முறை மாற்று உகைவு எனப்படும். ஓமின் விதியை ஒரு மண்டலம் முழுவதற்குமே யன்றி அதன் ஒரு பாகத்திற்கு மட்டும் உபயோகிக்கலாம்.

ஓமின் விதியைச் சரிபார்த்தல்

1. மின்மட்டமானி—ஆம்பியர்மானி முறை:— இரண்டு அல்லது மூன்று சேமங்களைத் தொடுத்து

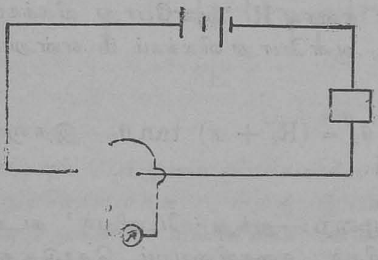


படம் **454**

(படம் 454)இல் கண்டவாறு பிணைப்புகளைச் செய்யவும். இதில் மா.த என்பது மாறியல் தகைவி (Variable resistance). ஆ ஒரு ஆம்பியர்மானி. சா ஒரு சாவி. ஸ நி என்பது ஒரு உகைவி. இதன் முனைகளை மி என்னும் மின்மட்டமானியின் முனைகளோடு பிணைக்கவும். ஓமின் விதி ஸ நி என்னும் மண்டலத்தின் பாகத்தில் சரிபார்க்கப்படுகிறது. உகைவியின் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமை மின்மட்டமானியாலும், அதன் வழியாகச் செல்லும் அருவி ஆம்பியர்மானியாலும் அளக்கப்படும். மாறியல் தகைவியை மாற்றியமைத்துப் பல வாசகங்களை எடுக்கவும். ஒவ்வொருமுறையும் ஆம்பியர்மானியின் வாசகத்தையும், மின்மட்டமானியின் வாசகத்தையும் குறித்துக்கொள்ளவும். வாசகங்களை யெல்லாம் கீழ்க்கண்டவாறு அட்டவணைப்படுத்தவும். கடைசிக் கலத்தில் கண்ட இராசி அதாவது நிலைப்பு வேற்றுமையை அருவியால் வகுத்து வந்த எண் மாறிலியாக இருப்பதைக் காணவும்.

எண்	மின்மட்ட மானி வாசகம் (V)	ஆம்பியர் மானி வாசகம் (A)	$\frac{V}{A} = R$
1			
2	.		
3			

2. பரிச-மின்னோட்டமானியைக் கொண்டு சரி பார்த்தல் :—இரண்டு சேமங்கள், ஒரு தகைவு பெட்டி (Resistance box) இவற்றை ஒரு மாற்றகத்தின் மூலமாக ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியோடு தொடர்ந்து இணைக்கவும். (படம் 455). மானியைக் காந்த துருவகத்தின் தளத்தில் வைத்து, அதன் சூசிகை 0° வாசகத்தைக் காட்டும்படி சரிப்படுத்தவும். பெட்டியிலுள்ள எல்லா தகைவுகளையும் உபயோகித்து மானியின் வாசகத்தைக் குறித்துக் கொள்ளவும். சூசிகையின் இரு முனைகளின் வாசகங்களையும் குறித்துக்கொள்ளுதல் அவசியம். பெட்டியிலுள்ள



படம் 455

தகைவுகளை ஒவ்வொன்றாக மூடிக் குறைத்து முறையே 200, 170, 140, 110, 80, 50 ஓம்களுக்குரிய மானியின் வாசகங்களைக் கண்டு கீழ்க்கண்டவாறு அட்டவணைப் படுத்தவும்.

எண்	தகைவு R	விலக்கம் θ	$\tan\theta$	$R \times \tan\theta$

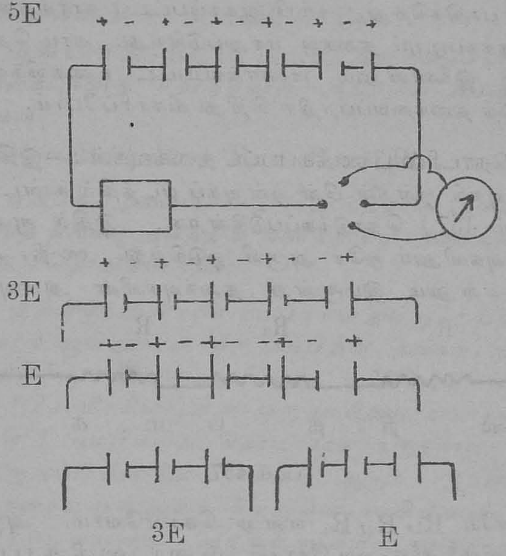
மானியின் தகைவையும் மின்கல அடுக்கின் தகைவையும் புறக்கணித்துவிடலாம். கடைசிக் கலத்தில் கண்ட மதிப்புகள் சமமாய் இருப்பதைக் காணலாம்.

மின்னோட்டமானி, மின்கல அடுக்கு இவற்றின் தகைவுகளைப் புறக்கணித்துவிட முடியாவிட்டால், அவற்றின் மதிப்பை x என்று கொள்ளலாம். இரண்டு வாசகங்களைக்கொண்டு x-ஐக் கணக்கிட்டு விடலாம். தகைவுப்பெட்டியின் தகைவு R_1 ஆனபோது விலக்கம் θ_1 என்றும், அது R_2 ஆனபோது விலக்கம் θ_2 என்றும் கொண்டால்

$(R_1 + x)\tan\theta_1 = (R_2 + x)\tan\theta_2$. இதனால் x-ஐக் கணக்கிடலாம்.

3. கடத்தின் முறை:—ஐந்து 'டேனியல்' கடங்களையும் ஒரு மாறியல் தகைவியையும் தொடுத்து, இவற்றை ஒரு மாற்றகத்தின் மூலமாக ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியோடு பிணைக்கவும். பரிசமின்னோட்டமானியை முதலில் சரிப்படுத்திவைக்கவும். (படம் 456). அருவியை முதலில் ஒரு திசையிலும் பிறகு அதற்கு எதிர்த் திசையிலும் செலுத்தி, சூசிகையின்

இரு முனைகளின் வாசகங்களையும் கண்டு, பொதுமை விலக்கமாகிய θ_1-ஐக் குறித்துக்கொள்ளவும். பிறகு ஒரு கடத்தை விலக்கி, அது மற்ற கடங்களின் மின்னியக்க சக்தியை முரணும்படி மாற்றித்தொடுத்து, மறு

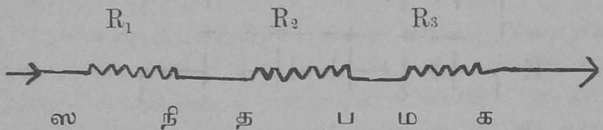


படம் 456

படியும் பொதுமை விலக்கமாகிய θ_2-ஐக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். பிறகு இரண்டு கடங்கள் மற்ற மூன்றுகளின் மின்னியக்க சக்தியை முரணும்படி தொடுத்து, மறுபடியும் பொதுமை விலக்கமாகிய θ_3 யைக் காணவும். இந்த மூன்று அமைப்புகளிலும் மின்னியக்க சக்திகள் முறையே 5E, 3 E, E ஆகும். அட்டவணையிட்டு $\frac{\text{மி. இ. ச.}}{\tan \theta}$ மாறிலியென்று காட்டவும். இது ஓமின் விதியை நிரூபிக்கிறது.

தொடரிலும், இணைவிலும் பிணைக்கப்பட்ட தகைவுகள் :—ஒரு கம்பியின் தகைவு பல காரணங்களைச் சார்ந்திருக்கிறது. ஒரு கம்பியின் நீளத்தையும் தடிப்பையும் மாற்றினால் அதன் தகைவு மாறுகிறது. சூடும் தகைவைப் பாதிக்கிறது. கம்பி ஆக்கப்பட்ட பதார்த்தத்திற்குத் தக்கபடியும் தகைவு மாறுபடுகிறது. நாம் தொடரிலும் இணைவிலும் பிணைக்கப்பட்ட உகைவிகளின் கூட்டுத் தகைவைப்பற்றிச் சிறிது விசாரிப்போம்.

தொடரில் பிணைக்கப்பட்ட தகைவுகள் :—இதிலே தகைவுகள் ஒன்றன் பின் ஒன்றாகப் படத்தில் கண்டபடி (படம் 457) தொடுக்கப்படுகின்றன. இதில் மூன்று தகைவுகளிலும் ஒரே அருவி ஓடுகிறது. ஸ நி, த ப ம க என்னும் இம்மூன்று தகைவுகளின் அளவுகள்



படம் 457

முறையே R_1, R_2, R_3 என்று கொள்வோம். அருவி ஸ-விலிருந்து க-வை நோக்கி ஓடினால் ஸ நி த ப ம க என்னும் புள்ளிகள் முறையே ஒன்றைவிட ஒன்று தாழ்ந்த நிலைப்புகளில் இருக்கின்றன. ஸ-வுக்கும் க-வுக்கும் இடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமையானது ஸநி, தப, மக என்னும் புள்ளிகளுக்கிடையிலுள்ள நிலைப்பு வேற்றுமைகளின் கூட்டுத்தொகையாகும். இந்தத் தகைவுகளின் வழியாக ஓடும் அருவி C என்று கொள்வோம். ஸ க-வுக்கு இடைப்பட்ட பயனிலைத் தகைவு R ஆனால், C R என்பது ஓமின் விதியினால் ஸ க-வுக்கு இடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமையாகும். C R_1 என்பது ஸ நி-க்கு இடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமை. CR_2

என்பது த ப-வுக்கு இடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமை. CR_3 என்பது மக-வுக்கு இடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமை. ஆகையால்

$$CR = CR_1 + CR_2 + CR_3$$

அல்லது $R = R_1 + R_2 + R_3$.

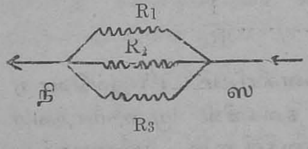
முறையே $R_1, R_2, R_3 \ldots\ldots R_n$ அளவுகள்கொண்ட n தகைவுகளைத் தொடுத்தால் அவற்றின் பயனிலைத் தகைவு

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \ldots\ldots R_n.$$

எனவே, தகைவிகளைத் தொடுத்தால் அவற்றின் கூட்டுத் தகைவு அவற்றின் தனித்தனித் தகைவுகளின் கூட்டுத் தொகையாகும்.

இதிலிருந்து சீரான தடிப்புள்ளதும் ஒரே பதார்த்தத்தால் ஆனதுமான ஒரு கம்பியின் தகைவு, அதன் நீளத்திற்கு ஏற்பவுள்ளது என்று அறிகிறோம். ஏனெனில் l செ. மீ. நீளமுள்ள ஒரு கம்பியை நாம் சமநீளமுள்ள l கம்பிகளின் தொடராகக் கருதலாம். ஒவ்வொரு கம்பியின் நீளம் 1 செ. மீ. ஆகும். இதன் கூட்டுத் தகைவு ஒரு அலகு நீளமுள்ள கம்பியினது தகைவின் l மடங்காகும். அதனால் கம்பியின் தகைவு அதன் நீளத்திற்கு ஏற்றது.

இணைக்கப்பட்ட தகைவுகள் :—இதில் எல்லா தகைவுகளின் ஒவ்வொரு முனைகள் சேர்ந்து ஓரிடத்திலும், மற்ற முனைகள் சேர்ந்து மற்று ஓரிடத்திலுமாக (படம் 458) இல் கண்டவாறு பிணைக்கப்படும். இந்த மண்டலத்தில் ஓடும் C என்னும் அருவி ஸ-வை அடைந்த



படம் 458

வுடன், மூன்று தகைவிகளிலும் C_1, C_2, C_3 என்னும் மூன்று கிளைகளாய்ப் பிரிந்து சென்று, மறுபடியும் நீ-யில் ஒன்றுகூடி C என்னும் அருவியாகி மேலே செல்லுகிறது. அதனால் $C = C_1 + C_2 + C_3$.

ஸநி-க்களுக்கு இடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமையை ஒவ்வொரு தகைவின் மூலமாகவும் கணக்கிடுவோம். R_1 மூலமாக எடுத்துகொண்டால் $E = C_1 R_1$.

R_2-வின் வழியாகக் கணக்கிட்டால் $E = C_2 R_2$;

R_3-யின் வழியாகக் கணக்கிட்டால் $E = C_3 R_3$.

கூட்டுத் தகைவு R ஆனல் $E = C R$.

ஆகையால் $E = C R = C_1 R_1 = C_2 R_2$

$= C_3 R_3$.

அல்லது $C = \frac{E}{R}$; $C_1 = \frac{E}{R_1}$; $C_2 = \frac{E}{R_2}$;

$C_3 = \frac{E}{R_3}$

ஆனல் $C = C_1 + C_2 + C_3$.

ஆகையால் $\frac{E}{R} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3}$

அல்லது $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ முறையே R_1, R_2, $R_3 \ldots\ldots\ldots R_n$ அளவுகளுள்ள n தகைவுகளைக் கூட்டிய கூட்டுத் தகைவு R ஆனல்

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \ldots\ldots\ldots \frac{1}{R_n}$$

எனவே, தகைவிகள் இணைக்கப்பட்டால் ஒவ்வொரு தனித்தனி உகைவியினது தகைவின் முறைமாற்றையும் கூட்டினல் கூட்டுத்தகைவினது முறைமாற்று கிடைக்கும். அல்லது தனித்தனி உகைவியின் உகைவு

களைக் கூட்டினால் அவற்றை இணைத்ததால் ஏற்படும் கூட்டு உகைவு கிடைக்கும் என்று கூறலாம்.

இதிலிருந்து ஒரு கம்பியின் உகைவு அதன் வெட்டு வாய்க்கு ஏற்றது என்று அறிகிறோம். இது எவ்வாறெனில் s ச. செ. மீ. வெட்டுவாய் கொண்ட ஒரு கம்பியை எடுத்துக்கொள்வோம். இதை ஒவ்வொரு ச. செ. மீ. வெட்டுவாய் கொண்ட s கம்பிகளை இணைத்திருப்பதாகக் கருதலாம். இந்தக் கம்பிகளின் கூட்டு உகைவு ஒவ்வொரு கம்பியினது உகைவின் s மடங்காகும். அதாவது $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \ldots\ldots\ldots R_n$.

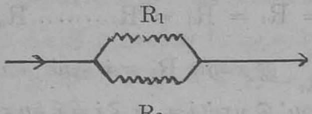
ஆகையால் $\frac{1}{R} = \frac{s}{R_1}$ இதனால் R என்னும் கூட்டுத் தகைவு s என்னும் வெட்டுவாய்க்கு எதிர்விகிதமாக மாறுகிறது என்று அறிகிறோம். அதனால் ஒரே நீளமுள்ள பல கம்பிகளின் தகைவு அவற்றின் வெட்டு வாய்க்கு எதிர்விகிதமாக மாறுபடும் என்று தெரிகிறது.

உரிமைத் தகைவு (Specific resistance) :—ஒரு கம்பியின் தகைவு அதன் நீளத்தையும் வெட்டுவாயையும் சார்ந்திருக்கிறது. மற்றும் அது கம்பி ஆக்கப்பட்ட பதார்த்தத்தின் இயல்பையும் சார்ந்திருக்கிறது. இவற்றையெல்லாம் $R = \frac{kl}{s}$ என்று கூறலாம். இதில் l கம்பியின் நீளம், s அதனுடைய வெட்டுவாய், k கம்பி ஆக்கப்பட்ட பதார்த்தத்திற்குரிய ஒரு மாறிலிக் குணியம். இதுவே அப்பதார்த்தத்தின் உரிமைத் தகவு அல்லது தகைவு-உரிமை என்று கூறப்படும். அதன் வரைவிலக்கணம் வருமாறு :—

ஒரு பதார்த்தத்தின் உரிமைத் தகைவு என்பது, அப்பதார்த்தத்தாலாகிய ஒரு சே. மீட்டர் சிறையுள்ள சேங்கட்டியின் இரண்டு எதிர்முகங்களுக்கிடையேயுள்ள தகைவு ஆகும்.

உரிமைத் தகைவினது முறை மாற்று உரிமை-உகைவு (Specific conductance) எனப்படும்.

கிளைப்பிரிவின் தத்துவம் (Principle of shunts) :—R_1, R_2 என்னும் இரண்டு தகைவிகளை இணைத்தால் (படம் 459) அவற்றின் கூட்டுத்தகைவாகிய R, $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ என்னும் வாய்பாட்டால் பெறப்படும் என்று கண்டோம். மண்டலத்தில் ஓடும் மொத்த அருவி C என்றும், இரண்டு கிளைகளிலும் ஓடும் அருவிகள் முறையே C_1, C_2 என்றும் கொள்வோம். இவ்விரண்டு கிளைகளின் முனைகளுக்குமிடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமை ஒன்றேயாதலால் $C_1 R_1 = C_2 R_2$ அல்லது $\frac{C_2}{C_1} = \frac{R_1}{R_2}$. இரண்டு உகைவிகளிலும் ஓடும் அருவிகள் முறையே அவற்றின் தகைவுகளுக்கு எதிர்விகிதமானவை.



படம் 459

மேற்கண்ட சமீகரணங்களில் ஒவ்வொரு புறத்திலும் ஒன்றைக் கூட்ட

$$\frac{C_1 + C_2}{C_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \text{ ஆகும்}$$

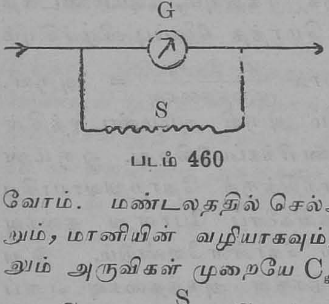
ஆனால் $C = C_1 + C_2$ என்று நாமறிவோம். அதனால் $C_1 = \frac{R_2 C}{R_1 + R_2}$; இது போலவே

$$C_2 = \frac{R_1 C}{R_1 + R_2}$$

இதைக் கூறும் முறை வருமாறு :—ஒரு கிளையில் ஓடும் அருவிக்கும் மொத்த அருவிக்கும் உள்ள தகவு, மற்ற கிளையின் தகைவுக்கும் இரண்டு தகைவுக்களின் கூட்டுத்தோகைக்கும் உள்ள தகவுக்குச் சமமாகும்.

ஒவ்வொரு மின்னோட்டமானியுள்ளும் செலுத்தக் கூடிய அருவிக்கு ஓர் எல்லையுண்டு. அதைவிட அதிக அருவியைச் செலுத்தினால் 'மானி' கெட்டுவிடும். அதனால் பெரிய அருவிகளை அளக்கவேண்டுமானால் அதன் ஒரு பாகத்தையே மானியினுள் செலுத்தி அளக்கவேண்டும். இவ்வாறு முழு அருவியின் ஒரு பாகத்தைப் பிரிப்பதற்கு இந்தத் தத்துவம் பயன்படும்.

(படம் 460)இல் கண்டபடி ஒரு மின்னோட்டமானி பிணைக்கப்பட்டால் அது கிளை பிரித்திருப்பதாகக் கூறப்படும். மானியின் தகைவு G என்றும், அதற்கு இணையாகப் பிணைக்கப்பட்ட உகைவியின் தகைவு S என்றும் கொள்வோம்.



படம் 460

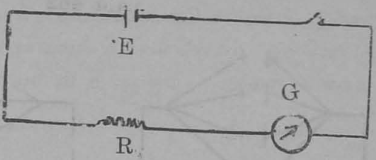
மண்டலததில் செல்லும் முழு அருவி C என்றும், மானியின் வழியாகவும், S-ன் வழியாகவும் செல்லும் அருவிகள் முறையே C_g, C_s என்றும் கொண்டால்

$C_g = \frac{S}{G+S} C$ என்று நாமறிவோம். நாம் இப்போது $S = \frac{1}{9} G$ என்று கொள்வோம். அப்படியானால் $C_g = \frac{1}{10} C$ ஆகும். எனவே, முழு அருவியின் பத்தில் ஒரு பங்கே மானியினுள் செல்லுகிறது. $S = \frac{1}{99} G$ என்று கொண்டால், முழு அருவியில் நூற்றிலொரு பங்கே மானியின் வழியாகச் செல்லும்.

மின்னோட்டமானிகளில் கிளைபிரிப்பதால் அவற்றைக் கொண்டு மிகப் பெரிய அருவிகளையும் அளப்பது சாத்தியமாகும். உதாரணமாக ஒரு 'ஓம்' தகைவு கொண்டதும், $\frac{1}{10}$ 'ஆம்பியர்' வரை அளக்கக்கூடியதுமான ஒரு மின்னோட்டமானியின் குறுக்கே, $\frac{1}{9}$ 'ஓம்', $\frac{1}{99}$ 'ஓம்' கொண்ட கிளைகளை பிரிப்பதால், அதை முறையே 1 'ஆம்பியர்', 10 'ஆம்பியர்' வரை அளக்கக்கூடிய கருவியாக மாற்றலாம்.

முழு மண்டலத்தில் ஓமின் விதியைப் பிரயோகித்தல் :—இரண்டு மூன்று தகைவிகளையும் ஒரு மின்னோட்டமானியையும் ஒரு கடத்தையும் தொடுத்தால், அக்கடத்தின் மின்னியக்க சக்தியும், அம்மண்டலத்தில் செல்வதால் ஏற்படும் மொத்த நிலைப்பு வீழ்ச்சியும் சமமாகும். ஓமின் விதியால் $\frac{\text{மி. இ. ச.}}{\text{முழுத்தகைவு}}$ = அருவி. ஒரு மண்டலத்தில் ஏற்படும் அருவி அம்மண்டலத்தின் மொத்தத் தகைவினால் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. ஒரு மண்டலத்தில் மின்னியக்க சக்திக்குத் தோற்றுவாயாகிய கடத்திற்கும் மற்ற தகைவிகளைப் போன்று தகைவு உண்டென்பதை நினைவிற் கொள்ளவேண்டும். இது கடம் அல்லது மின்கல அடுக்கின் அகத்தகைவு எனப் படும். இதையும் மொத்தத் தகைவைக் காணும்போது உடன் கூட்டிக்கொள்ளவேண்டும். ஒரு மின்கல அடுக்கின் மின்னியக்க சக்தி E என்றும், அதன் அகத்தகைவு r என்றும், புறத்திலே அதன் துருவங்களை ஒன்றுசேர்க்கும் மண்டலத்தின் தகைவு R என்றும் கொண்டால், ஓமின் விதிப்படி அம்மண்டலத்தில் ஏற்படும் அருவி $\frac{E}{R+r}$ ஆகும். (படம் 461). G-யை தகைவாய்க்

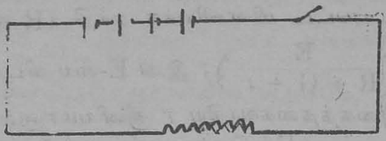
கொண்ட ஒரு மின்னோட்டமானியை இதில் பிணைத்தால் அருவி $C = \frac{E}{R + r + G}$ ஆகும். கடத்தின் துருவங்களுக்கிடைப்பட்ட மின்னியக்க சக்தி $(R + G) C = R + G \left(\frac{E}{R + G + r}\right)$; இது E-யை விடக் குறைவானது. அகைத்தகைவாகிய r சூனியமானல் அது E-க்குச் சமமாகும். 'E' திறந்த மண்டலத்தின் மின்னியக்க சக்தி எனப்படும். ஒரு முடிந்த மண்டலத்தின் துருவங்களுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமை, முடியாத மண்டலத்தின் துருவங்களுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமையை விடக் குறைவாகும். முடிந்த மண்டலத்தில் அருவியை மின்கல அடுக்கின் அகத்தகைவை மீறிச் செலுத்த வேண்டியிருப்பதால், மொத்த மின்னியக்க சக்தியில் ஒரு பாகம் இதில் செலவழிந்துவிடுகிறது. எல்லா பிரதம கடங்களிலும் அகத்தகைவு மிக அதிகமாய் இருக்கும். துணைக் கடங்களில் (Secondary cells) அது மிகக் குறைவாகவே இருக்கும்.



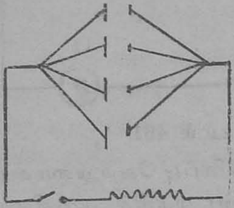
படம் 461

தொடரிலும் இணைவிலும் பிணைக்கப்பட்ட கடங்கள் :—முன்னொரு அத்தியாயத்தில் ஒரே வகையான கடங்களை எவ்வாறு தொடரிலும் இணைவிலும் பிணைக்கலாம் என்று கூறினோம். இப்போது அத்தகைய பிணைப்புகளில் ஓடும் அருவிகளைக் கணக்கிடுவோம். நாம் ஒவ்வொன்றும் r அகத்தகைவு கொண்ட n கடங்களை R என்னும் ஒரு புறத்தகைவியோடு தொடரில் பிணைத்திருப்பதாகவும், ஒவ்வொரு கடத்தின் மி. இ. ச. E என்றும் கொள்வோம். (படம் 462). மின்கல

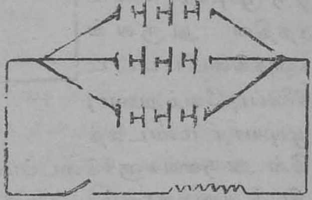
அடுக்கின் மொத்த மி. இ. ச. n E ஆகும். அதன் மொத்தத் தகைவு $n\,r$ ஆகும். ஆகவே ஓமின் விதிப்



படம் 462



படம் 463



படம் 464

படி அருவி $C = \frac{nE}{R + nr}$. இதே கடங்களை (படம் 463)இல் கண்டபடி இணைவில் பிணைத்திருந்தால் அம் மின்கல வடுக்கின் மி. இ. ச. E ஆகும். அதன் ஒப்புமைத் தகவு (Equivalent resistance)

$\frac{r}{n}$ ஆகும். எனவே அருவி $C = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} = \frac{nE}{nR + r}$

உச்சநிலை அருவியை (Maximum current) அடைவதற்கான அமைப்பு :—(படம் 464). தொடர் பிணைப்பு, இணைப்பு ஆகிய இரண்டினுள் அதிக அருவி எதில் செல்லுகிறது என்பதைக் கவனிப்போம். இது மேற்கண்ட $\frac{nE}{R+nr}$, $\frac{nE}{nR+r}$ என்ற இரண்டு ஆக்கங்

களில் (Expression) எதனுடைய கீழ் எண் மிகச் சிறியது என்பதைப் பொறுத்திருக்கிறது. $(R + nr)$ என்பது $(nR+r)$ஐவிடப் பெரிது ஆனால், அதாவது அகத்தகைவு புறத்தகைவைவிடப் பெரிதானால், இணைவிலே பிணைப்பதால் அதிக அருவி ஏற்படும். இல்லாவிடில் தொடர் பிணைப்பிலேதான் அதிக அருவி ஏற்படும். n கடங்களுக்குப் பதிலாக n வரிசையான கடங்கள் இருப்பதாகவும், ஒவ்வொரு வரிசையிலும் m கடங்கள் தொடுத்திருப்பதாகவும், கடவரிசைகளெல்லாம் இணைவிலே பிணைத்திருப்பதாகவும் கொள்வோம். ஒவ்வொரு வரிசையின் மி. இ. ச. யும் mE ஆகும். அதன் தகைவு mr ஆகும். n வரிசைகளில் ஒப்புமைத் தகவு $\frac{mr}{n}$ ஆகும்.

$$\text{எனவே அருவி } C = \frac{Em}{R + \frac{mr}{n}} = \frac{nmE}{nR + mr}$$

மொத்த கடங்களின் எண்ணிக்கையான mn நிர்ணயிக்கப்பட்டிருப்பதாகவும், m யையும் n யையும் நாம் விரும்பியபடி மாற்றலாமென்றும் கொள்வோம். உச்சநிலை அருவி வேண்டுமானால் கீழ் எண் நீசநிலையில் இருக்கவேண்டும். நிற்க,

$$nR + mr = \left\{\sqrt{nR} - \sqrt{mr}\right\}^2 + 2\sqrt{nRmr}.$$

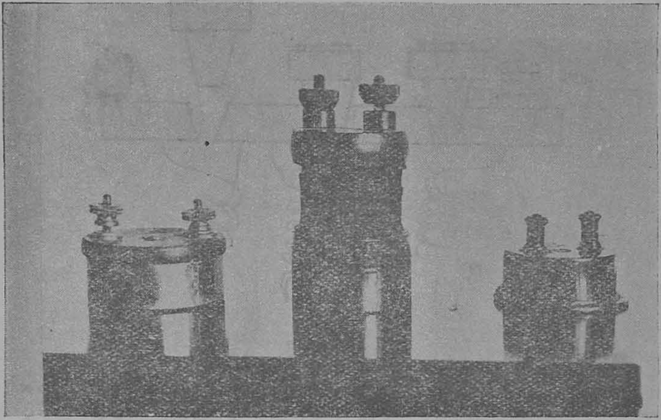
இதில் கடைசி உத்தி (Term) மாறிலியாகும். எனவே, இடைப்பட்டவருக்கம் சூனியமானபோது இவ்வருக்கம் நீசநிலையை அடையும். வருக்கம் குறைநிலை மதிப்பை (Negative values) அடைய முடியாது. எனவே C உச்சநிலையடையவேண்டுமானால்

$\left\{ \sqrt{n\,\mathrm{R}} - \sqrt{m\,r} \right\} = 0$ ஆகவேண்டும். அல்லது $n\,\mathrm{R} = m\,r$. அல்லது $\mathrm{R} = \dfrac{m\,r}{n}$ ஆக வேண்டும். ஆனால் $\dfrac{m\,r}{\mathrm{R}}$ என்பது மின்கல வடுக்கின் ஒப்புமை அகத் தகைவு ஆகும். எனவே, ஒரு மின்கல வடுக்கில் உச்ச நிலை அருவியைப் பெறவேண்டுமானல் அதன் அகத் தகைவு கூடுமானவரை புறத்தகைவுக்குச் சமமாகும்படியாகக் கடங்களை அமைத்தல்வேண்டும்.

தகைவுகளையும் மின்னியக்க சக்திகளையும் அளத்தல்:—ஒரு கம்பித் துண்டின் பௌதிக நிலையில் யாதொரு மாறுபாடும் ஏற்படாதவரை, அதன் தகைவு மாறிலியாக விருக்குமென்று கண்டோம். கட்டளைத் தகைவிகளைக் கண்டுகளாக (Bobbins) வேனும் அல்லது பெட்டிகளாகவேனும் செய்வது வழக்கம். முற்கூறியவற்றில் அவற்றின் தகைவுகள் நிர்ணயிக்கப்பட்டு மாறுமல் இருக்கின்றன. பின்னல் கூறியவற்றில் அவற்றின் தகைவுகளை ஒரு எல்லைக்குள் மாற்றலாம். கண்டுகளில் பிடிப்புத் திருகுகளாலான துருவங்கள் இருக்கின்றன. அவற்றினிடையே பட்டினுல் உறையிடப்பட்ட தகைவுச் சுருள் பிணைக்கப்பட்டிருக்கும் (படம் 465).

தகைவுப் பெட்டிகள் :—தகைவுப்பெட்டியில் அநேக கம்பிச்சுருள்கள் இருக்கின்றன. அவற்றில் ஒவ்வொன்றின் தகைவும் ஒரு ஓமின் பல மடங்குகளாகவோ அல்லது பங்குகளாகவோ இருக்கும். இம்மடங்குகளும் பங்குகளும் முறையே தம்முள் அளவொத்திருக்கும். இவை சிறு கண்டுகளின்மீது சுற்றப்பட்டு முழுவதும் மெழுகினுள் முழுக்கிப் பதிய வைக்கப்பட்டிருக்கும். இரண்டுவகையான தகைவுப் பெட்டிகள் உண்டு. ஒன்று முளை வகை (Plug pattern). மற்றொன்று வட்டில்

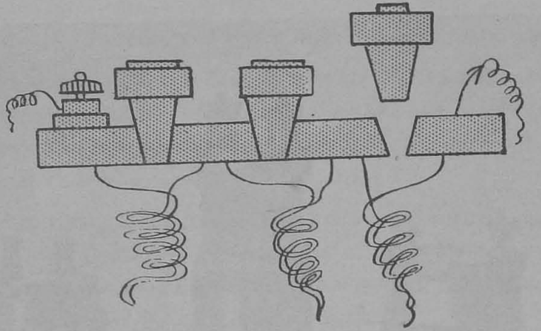
வகை (Dial pattern). இச்சுருள்களெல்லாம் ஒரு பெட்டியினுள் வைக்கப்பட்டிருக்கும். இப்பெட்டியின் மூடி பொதுவாக எபொனைட்டால் ஆனது. சுருள்



படம் 465

களின் நுனிகள் எபொனைட் மூடியின் வழியாக வெளியே கொண்டுவரப்பட்டு, தடித்த இரண்டு பித்தளைக் கட்டைகளோடு பொருத்தப் பட்டிருக்கும். இப்பித்தளைக் கட்டைகள் மூளைவகைப் பெட்டியில் வரிசையாக ஒரு நேர்கோட்டிலும், வட்டில்வகைப் பெட்டியில் ஒரு வட்டத்தின் பரிதியைச்சுற்றிலும் அமைக்கப்பட்டிருக்கும். முன்னையதில் தடித்த பித்தளை மூளைகளை (படம் 466)-ல் கண்டவாறு கட்டைகளின் இடையில் செருகலாம். இம் மூளைகளுக்கு எபொனைட்டால் ஆன தலைகள் உண்டு. மூளையை நீக்கிவிட்டால் அருவி கம்பிச்சுருளின் வழியாகப் பாயவேண்டும். மூளையைச் செருகிவிட்டால், இக் கம்பிச்சுருள் குறுக்கிடப்பட்டு அதன் தகைவு நீக்கப் பட்டுவிடும். இப்போது அருவிக்கு எவ்விதத் தகைவும்

ஏற்படுவதில்லை. எல்லா முளைகளும் செருகப்பட்டுவிட்டால், அருவி, கட்டைகளின் வழியாகவும் முளைகளின் வழியாகவும் பாய்ந்து செல்லுகிறது. இவற்றின் வெட்டு

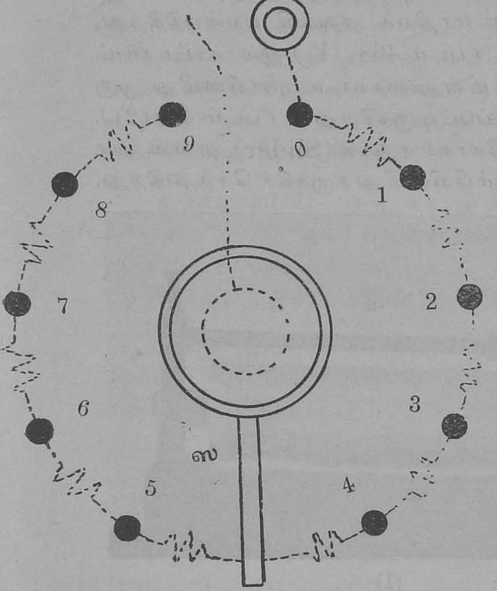


படம் 466

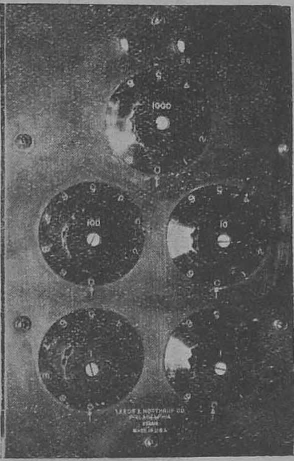
வாய்கள் மிகப் பெரிதாய் இருப்பதால் எவ்விதத் தகையும் ஏற்படுவதில்லை. ஒரு முளையை நீக்கிவிட்டால் அந்த இடைவெளியில் உள்ள கம்பிச்சுருளின் தகைவு குறுக்கிடுகிறது. தகைவுப் பெட்டியின் மொத்தத் தகைவு அதிலுள்ள எல்லாச் சுருள்களின் கூட்டுத்தகைவுக்குச் சமமாகும். நாம் ஒரு முளையை நீக்கி அதற்குரிய தகைவை மண்டலத்தில் ஏற்படுத்தும்போது, மற்ற முளைகளெல்லாம் நன்றாக அழுந்தி இருக்கும்படி செய்ய வேண்டும். பெரிய அருவிகள் பாயும்போது தகைவுப் பெட்டிகளை உபயோகிக்கவே கூடாது. அவ்வாறு செய்வதால் கம்பிச்சுருள்கள் சூடேறிப் பெட்டி ‘ தீய்ந்து ’ போய்விடும்.

வட்டில் வகை தகைவுப் பெட்டி :—இது (படம் 467 (1), (2))இல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஒவ்வொரு வட்டிலிலும் பத்துப் பித்தளைக் கட்டைகள் பரிதியைச் சுற்றி அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. தகைவுக் கம்பிகள்

அடுத்துள்ள கட்டைகளைப் பிணைக்கின்றன. ஒரு இடைவெளிமட்டும் பிணைக்கப்படாமல் விடப்பட்டிருக்



(1)

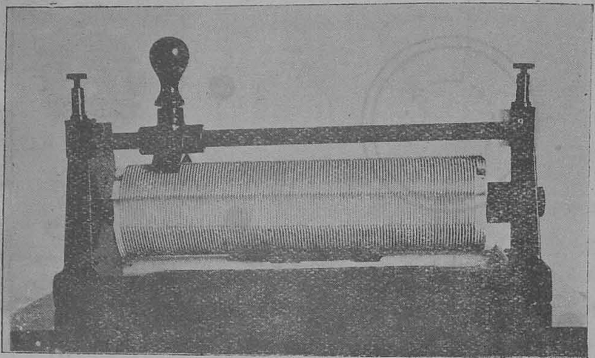


(2)

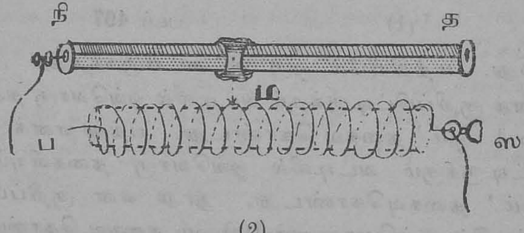
படம் **467**

கிறது. மத்தியிலே ஒரு கட்டையிருக்கிறது. அலகு எனக் குறிப்பிட்டிருக்கும் வட்டிலில் ஒவ்வொரு தகைவியும் 1 'ஓம்' தகைவு கொண்டது. பத்து எனக் குறிப்பிட்டிருக்கும் வட்டிலில் ஒவ்வொரு தகைவியும் 10 'ஓம்' தகைவுகொண்டது. நூறு என குறிப்பிட்டிருப்பதில் ஒவ்வொன்றும் 100 ஓம் தகைவு கொண்டது. ஸ என்னும் இயங்கக்கூடிய கையைப் பிடித்துச் சுற்றி மத்தியிலுள்ள பித்தளைக்கட்டையோடு சுற்றிலுமுள்ள ஒவ்வொரு கட்டையையும் பிணைக்கலாம்.

தகைப்பு (Rheostat) :—சில சமயங்களில் ஒரு மின்மண்டலத்தில் உள்ள தகைவை அதன் மதிப்பை அறியாமலே மாற்றவேண்டியிருக்கும். இதற்காகத் தகைப்பு எனப்படும் மாறியல் தகைவி பயன்படுகிறது. இதில் ஒரு வகை (படம் 468 (1)) இல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு மின்னுகையா உருளையின்மீது ஒரு கம்பிச்சுருள் சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 468 (2)). ம என்னும் ஒரு உலோகச் சருக்கி (Slider), த என்னும் தடித்த உலோகக் கம்பியின்மீது சருக்கிச் செல்லுகிறது.



(1)



(2)

படம் **468**

இதன் ஒரு முனை கம்பிச்சுருளில் ஸ ப-வுக்கு இடைப்பட்ட எந்த இடத்தையும் தீண்டத்தக்கபடி அமைந்

திருக்கிறது. சருக்கி எந்த இடத்தில் இருந்தாலும் கம்பியின் தகைவு ஸ, நி என்னும் துருவங்களுக்கு இடைப்பட்ட தகைவு ஆகும். அதாவது ஸ ம-வுக்கு இடைப்பட்ட தகைவேயாகும். ஏனெனில் தடித்த உலோகக் கம்பிக்குத் தகைவு சூனியமென்று கொள்ளலாம். சருக்கி ஸ-வைத் தீண்டியிருக்கும்போது தகைவு சூனியமாகும். அது ப-வைத் தீண்டும்போது தகைவு உச்சநிலையை அடைகிறது.

உதாரணம் 1. ஒரு கடத்தின் மி. இ. சக்தி 2 'ஒல்ட்'. 20 'ஓம்' புறத்தகைவியோடு பிணைத்தால் இதன் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்புவேற்றுமை 1·6 'ஒல்ட்.' இக்கடத்தின் அகத்தகைவு யாது?

இதன் அகத்தகைவு x 'ஓம்' என்று கொள்வோம். 20 'ஓம்' புறத்தகைவியோடு பிணைத்தபோது மண்டலத்தின் கூட்டுத்தகைவு $(20 + x)$ 'ஓம்'.

கடத்தின் மின்னியக்க சக்தி 2 'ஒல்ட்'. எனவே, மண்டலத்திலேற்படும் அருவி $= \frac{2}{20 + x}$ 'ஆம்பியர்.'

புறத்தகைவியின் முனைக்களுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்பு வீழ்ச்சி $\frac{2 \times 20}{(20+x)}$ 'ஒல்ட்' ஆகும்.

ஆனல் இது 1·6 'ஒல்ட்' என்று காணப்பட்டது.

எனவே $\frac{2 \times 20}{(20 + x)} = 1{\cdot}6$

அல்லது $x = 5$ 'ஓம்' ஆகும்.

உதாரணம் 2. ஒரு கடம், 10 'ஓம்' தகைவு கொண்டதொரு பரிசமின்னோட்டமானி, ஒரு தகைவிப் பெட்டி என்னுமிவை ஒரு மண்டலத்திலே தொடுக்கப்பட்டன. தகைவிப்பெட்டியில் முளையொன்றையும் நீக்

காதிருக்கும்போது மின்னோட்டமானியிலே விலக்கம் 30°; 10 ஓம் முளையை நீக்கியபிறகு விலக்கம் 18°. கடத்தின் அகத்தகைவு காண்க.

கடத்தின் அகத்தகைவு x 'ஓம்' என்று கொள்வோம்.

இதிலே அருவி விலக்கத்தின் tan-க்கு ஏற்பவுள்ளது. ஆனால் அருவியோ கூட்டுத்தகைவிற்கு எதிர் விகிதமானது. எனவே,

$$\frac{(10 + x)}{(20 + x)} = \frac{\tan 18^\circ}{\tan 30^\circ} = \frac{\cdot 3249}{\cdot 5774}$$

அல்லது $(10 + x) \cdot 5774 = (20 + x) \cdot 3249.$

ஆகையால் $x = 2{\cdot}87$ 'ஓம்'

எனவே, கடத்தின் அகத்தகைவு 2·87 'ஓம்' ஆகும்.

உதாரணம் 3. 1·5 'வோல்ட்' மி. இ. சக்தியும் 1 'ஓம்' அகத்தகைவும் கொண்டதொரு கடத்தை, 14 'ஓம்' தகைவுகொண்டதொரு மின்னோட்டமானியோடு பிணைக்க 60° விலக்கம் ஏற்பட்டது. மின்னோட்டமானியின் குணியத்தைக் கணக்கிடுக.

இம்மண்டலத்தின் கூட்டுத்கைவு

$1 + 14 = 15$ 'ஓம்'

மி. இ. சக்தி 1·5 'வோல்ட்'

ஆகையால் மண்டலத்திலோடும் அருவி

$$\frac{1{\cdot}5}{15} = \cdot 1 \text{ 'ஆம்பியர்'}$$

மின்னோட்டமானியில் அருவிக்குரிய வாய்பாடு

$$C = k \tan \theta.$$

இதில் k என்பது மானியின் குணியம். θ என்பது அதன் விலக்கம்.

கணக்கில் கண்ட இராசிகளை இடவே

$$0{\cdot}1 = k \tan 60^\circ$$
$$= k \times 1{\cdot}7321.$$

ஆகையால் $k = \frac{0{\cdot}1}{1{\cdot}7321} = {\cdot}058.$

மானியின் குணியம் ·058 ஆகும்.

உதாரணம் 4. 10 ஓம் தகைவுகொண்ட பரிச மின்னோட்டமானியின் வழியாக ஒரு அருவி செல்லும் போது 45° விலக்கம் ஏற்படுகிறது. இவ்விலக்கத்தை 10° ஆகக் குறைக்கவேண்டுமானால் எத்தகைய கிளைப்பைக் கையாளவேண்டும்.

மானியின் வழியாகச் செல்லும் அருவி அதிலேற்படும் விலக்கத்திற்கு ஏற்றது. அதாவது

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2}$$ கணக்கின்படி

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\tan 45^\circ}{\tan 10^\circ} = \frac{1}{{\cdot}1763}$$

இரண்டாகக் கிளைக்குமொரு இடத்திலே ஒரு கிளையில் செல்லும் அருவி

$$= \frac{\text{மற்றொரு கிளையின்தகைவு}}{\text{கிளையின் கூட்டுத்தகைவு}} \times \text{மொத்த அருவி.}$$

மானிக் கிளையில் செல்லும் அருவி,

$$C_2 = \frac{\text{கிளைப்பின்தகைவு}}{\text{மொத்தத்தகைவு}} \times \text{மொத்த அருவி.}$$

$$C_2 = \frac{x}{10 + x} \times C_1$$

ஆகையால் $\frac{C_2}{C_1} = \frac{x}{(10 + x)} = \cdot 1763$

அல்லது $x = 2 \cdot 14$.

எனவே, மானியோடு 2·14 'ஓம்' கொண்ட கிளைப்பை இணைக்கவேண்டும்.

உதாரணம் 5. 1 மி. மீ. விட்டம் கொண்டதும் 1 மீட்டர் நீளமுள்ளதுமான ஒரு கம்பியோடு, இதை விட மெல்லிய 3 மீட்டர் நீளமுள்ள மற்ருெரு கம்பி பிணைக்கப்பட்டது. இவை ஒரு மின்கல வடுக்கோடு தொடுக்கப்பட்டன. முதல் கம்பியின் முனைகளினி டையே கிலைப்புவேற்றுமை 1 'ஒல்ட்'. இரண்டாவது கம்பியின் கி. வே. 30 'ஒல்ட்'. இரண்டாவது கம்பி யின் விட்டம் யாது?

முதல் கம்பியின் வெட்டுவாய் $= \pi r_1^2$

$$= \pi \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{\pi}{4}$$

இரண்டாவது கம்பியின் விட்டம் d மி. மீ. என்று கொண்டால் அதன் வெட்டுவாய்

$$\pi r_2^2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

முதல் கம்பியின் தகைவு

$$= \frac{\text{அதன் நீளம்} \times \text{உரிமைத் தகைவு}}{\text{அதன் வெட்டுவாய்}}$$

$= \frac{100 \rho}{\pi/4}$. இரண்டாவது கம்பியின்

தகைவு $= \frac{300 \times \rho}{\frac{\pi d^2}{4}}$ } இதில் ρ என்பது உரிமைத் தகைவு.

$$\frac{\text{முதல் கம்பியின் தகைவு}}{\text{இரண்டாவது கம்பித்தகைவு}} = \frac{d^2}{3}$$

$$= \frac{\text{முதல் கம்பியின் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட நி. வே.}}{\text{இரண்டாவது கம்பியின் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட நி. வே.}}$$

$$= \frac{1}{30}$$

ஆகையால் $\frac{d^2}{3} = \frac{1}{30}$ அல்லது $d = \sqrt{\frac{1}{10}} = 0{\cdot}316$

இரண்டாவது கம்பியின் விட்டம் 0·316 மி. மீட்டர்.

வினாக்கள்

1. ஓமின் விதியை எடுத்துக்கூறி அதைச் சரி பார்க்க ஒரு பரிசோதனையை விவரிக்கவும்.

1 'ஓம்' தகைவு கொண்டதொரு மின்கல அடுக்கையும், 50 'ஓம்' தகைவு கொண்டதொரு பரிசமின்னோட்டமானியும், 40 'ஓம்' தகைவுகொண்டதொரு கம்பியும் தொடர்ந்து பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மின்னோட்டமானியின் வாசகம் 20°. 40 'ஓம்' கொண்ட கம்பியை நீக்கிவிட்டு வேறொரு கம்பியைப் பொருத்த மின்னோட்டமானி வாசகம் 12° ஆயிற்று. இந்தப் புதுக் கம்பியின் தகைவு காண்க.

(சென்னை, செப். 1928)

2. ஓமின் விதியை எடுத்துக் கூறுக. ஒரு மண்டலத்தின் அமைப்பு வருமாறு :—A, B என்ற புள்ளிகளினிடையே இரண்டு கம்பிகள் இணைத்து பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒன்று மற்றொன்றைவிட மூன்று மடங்கு நீளமும் அதில் பாதி தடிப்பும் கொண்டது. B, C என்ற புள்ளிகளினிடையே ஒரு மின்கல அடுக்கும் பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. இதன் வழியாகச் செல்லுமொரு அருவியின் வலிமை 1 'ஆம்பியர்' என்று மின்னோட்டமானி காட்டுகிறது. மண்டலத்தின் மற்ற பகுதிகளிலே அருவியின் வலிமை யாதாகும்.

(சென்னை : மார்ச். 1921)

3. முறையே 20 'ஓம்', 50 'ஓம்' கொண்ட இரண்டு தகைவிகள் இணைத்துப் பிணைக்கப்பட்டன. இவற்றோடு 10 'ஓம்' கொண்டதொரு தகைவியும், 5 'ஓம்' அகத்தகைவுகொண்டதொரு மின்கல அடுக்கும் தொடர்ந்து பிணைக்கப்பட்டன. மின்கல அடுக்கின்

மி.இ. சக்தி 2 'வோல்ட்'. இந்த மண்டலத்திலோடும் அருவியைக் கணக்கிடுக.

(ஆக்ஸ் : 1928)

4. ஓமின் விதியின் பொருள் யாது? அதை எவ்வாறு சரிபார்க்கலாம்.

ஒரு மின்கல அடுக்கின் துருவங்களுக்கிடையே 3 'ஓம்' தகைவு கொண்டதொரு கம்பியைப் பிணைத்தால், அதிலே ·5 'ஆம்பியர்' கொண்ட அருவி ஓடுகிறது. 7 'ஓம்' கொண்ட கம்பியை இணைத்தால் அருவி 0·25 'ஆம்பியர்' ஆகிறது. மின்கல அடுக்கின் மி. இ. சக்தி யாது?

(ஆக்ஸ் : 1932)

5. இயங்குசுருள் மின்னேட்டமானி ஒன்றின் அமைப்பையும், செயல் முறையையும் விவரித்துரைக்கவும்.

ஒரு நுணுக்கமான மின்னேட்டமானியின் தகைவு 10 'ஓம்'. இதன் வழியாகப் பிரதம அருவியின் நூற்றிலொரு பகுதி மட்டுமே செல்லவேண்டுமானல் இதை எந்தத் தகைவியோடு குறுக்கவேண்டுமென்று காண்க.

(சென்னை : செப். 1931)

6. ஒரு கடமும், 150 'ஓம்' தகைவும் கொண்டதொரு பரிசமின்னேட்டமானியும், ஒரு தகைவிப் பெட்டியும் தொடர்ந்து பிணைக்கப்பட்டன. பெட்டியில் 50 'ஓம்' தகைவிருந்தபோது மானிவிலக்கம் 55°. 100 'ஓம்' தகைவு இருந்தபோது விலக்கம் 49°. கடத்தின் தகைவு காண்க.

7. 200 'ஓம்' தகைவு கொண்டதொரு மின்னேட்டமானியும், 1 'ஓம்' அகத்தகைவும் கொண்டதொரு கடமும், ஒரு தகைவுப் பெட்டியும் தொடர்ந்து

இணைக்கப்பட்டன. தகைவுப் பெட்டியிலே 24 'ஓம்' தகைவு இருந்தபோது விலக்கம் 45°. இதை 15° யாகக் குறைக்கவேண்டுமானல் பின்னும் எவ்வளவு தகைவைப் புகுத்தவேண்டும்?

8. ஒரு மின்கலஅடுக்கும் ஒரு பரிசமின்னேட்ட மானியும் பிணைப்புக் கம்பிகளும் கூடியதொரு மண்டலத்தின் தகைவு 10 'ஓம்'. மானியின் விலக்கம் 60°. R தகைவு கொண்டதொரு கம்பி இதிலே சேர்க்கப் பட்டது. இப்போது விலக்கம் 30°. R-இன் மதிப்பு காண்க.

9. முறையே r_1, r_2 தகைவுகொண்ட இரண்டு கம்பிகள் இணைத்துப் பிணைக்கப்படுகின்றன. இவற்றின் ஒப்புமைத்தகைவு $\frac{r_1 + r_2}{r_1 \; r_2}$ என்று காட்டுக.

(ஆந்திரா : செப். 1933)

10. மின்சார மண்டலங்களிலே 'குறுக்கீடு' என்றல் என்ன? இதை மின்னேட்டமானியோடு எவ்வாறு கையாளுவது?

1 'ஓம்' தகைவு கொண்டதொரு மின்னேட்டமானியைக் கொண்டு 0-விலிருந்து $\frac{1}{10}$ 'ஆம்பியர்' வரை அளக்கலாம். 0-விலிருந்து $\frac{1}{2}$ 'ஆம்பியர்' வரை இதைக்கொண்டு அளக்கவேண்டுமானல் எத்தகைய 'குறுக்கீடு' உபயோகிக்கவேண்டும்.

(அண்ணமலை : 1932)

11. 'அலகுத்தகைவு' என்பதற்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

ஒரு மின்னேட்டமானியின் வழியாகச் செல்லும் அருவியை $\frac{1}{20}$ ஆகக் குறைக்கவேண்டுமானல், அதன்

துருவங்களினிடையே எவ்வளவு தகவைக்கொண்டு குறுகச் செய்யவேண்டும்?

(ரங்கூன் : 1931)

12. 3 'ஓம்' தகைவு கொண்டதொரு பரிசமின்னோட்டமானியோடு ஒரு கடத்தை இணைக்க அதன் விலக்கம் 50° ஆயிற்று. இம்மண்டலத்திலே 5 'ஓம்' தகைவைப் புகுத்தவே விலக்கம் 40° ஆகக் குறைந்துவிட்டது. கடத்தின் தகைவைக் கணக்கிடுக.

13. ஒரு மின்கலஅடுக்கும் ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியும் இணைப்புக் கம்பிகளும் கூடியதொரு மண்டலத்தின் தகைவு 5 'ஓம்'. மானியின் விலக்கம் 40° 30′. இதிலே ஒரு தகைவியை புகுத்த விலக்கம் 30° ஆகிவிட்டது. இத்தகைவியின் அளவைக் காண்க.

14. ஒரு கடமும், ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியும், ஒரு தகைவிப்பெட்டியும், 20 'ஓம்' கொண்டதொரு தகைவியும் தொடர்ந்து பிணைக்கப்பட்டன. பெட்டியின் தகைவு சூனியமானபோது விலக்கம் காணப்பட்டது. இம்மண்டலத்திலே 20 'ஓம்' தகைவியோடு இணையாக ஒரு தகைவியைப் பிணைக்கவே, விலக்கம் முன்னிருந்த நிலையை அடைவதற்காகத் தகைவுப்பெட்டியிலிருந்து $13\frac{1}{3}$ 'ஓம்' முளைகளைப் பிடுங்கவேண்டியிருந்தது. இத்தகைவியின் அளவு காண்க.

15. ஒரு மின்கலஅடுக்கின் துருவங்களை ஒரு மின்மட்டமானியோடு இணைக்க அது 10 'ஓல்ட்' நிலைப்பு வேற்றுமை காட்டிற்று. மின்கலஅடுக்கின் முனைகளுக்கிடையே 6 'ஓம்' தகைவைப் பிணைக்க, மின்மட்டமானியின் வாசகம் 4 'ஓல்ட்' ஆயிற்று. கடத்தின் அகத்தகைவைக் கணக்கிடுக. மின்கலஅடுக்கின் முனைகளுக்கிடையே 15 'ஓம்' தகைவைப் பிணைத்தால் மானியின் வாசகம் யாதாக இருக்கும்.

16. ஓமின் விதியை எடுத்துக்கூறி அதை எவ்வாறு சரிபார்க்கலாமென்று சுருக்கமாகக் கூறுக.

ஒரு உலர்ந்த கடத்தின் மி. இ. சக்தி 1·4 'ஓல்ட்' அதன் துருவங்களை 0·1 'ஓம்' கொண்ட ஒரு உகைவியால் பிணைக்க அதிலே 5·6 'ஆம்பியர்' அருவி பாய்கிறது. இக்கடத்தின் அகத்தகைவைக் கணக்கிடுக. இத்தகைய இரண்டு கடங்கள் (1) இணைவாகவும் (2) தொடராகவும் 20 'ஓம்' புறத்தகைவோடு பிணைக்கப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு வகையிலும் ஏற்படும் அருவியைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை : மார்ச்சு, 1927)

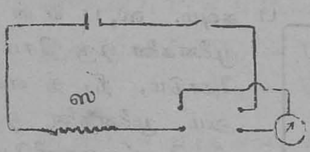
17. ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியின் அமைப்பையும் செயல் முறையையும் விவரித்துக் கூறுக. அதன் குணியத்தை எப்படிக் காணலாம்.

(காசி, 1930)

அத்தியாயம் 5

மின்னியல் அளவைகள்
(Electrical measurements)

தகைவை அளத்தல்:—1. அளக்கவேண்டிய ஸ என்னும் தகைவியையும் ஒரு பரிச மின்னோட்டமானியையும் ஒரு மாற்றகத்தின் வழியாக, ஒரு சேமத்தின் துருவங்களோடு (படம் 469)இல் கண்டவாறு பிணைக்கவும். மானியின் பொதுமை விலக்கத்தைக் காணவும். தகைவியை நீக்கிவிட்டு, அந்த இடத்தில் ஒரு தகைவுப் பெட்டியைப் பிணைத்து மறுபடியும் அதே விலக்கம் வரும்படி, தகைவுப் பெட்டியின் தகைவைச் சரிப்படுத்தவும். இப்போது பெட்டியில் கண்ட தகைவே ஸ-வின் தகைவாகும். இந்த முறையிலே நாம் அளக்கவேண்டிய தகைவு, பெட்டியின் மொத்தத் தகைவுக்குட்பட்டதாக இருக்கவேண்டும். மற்றும் மானியும் நுணுக்கமுடையதாய் இருக்கவேண்டும். எனவே, இந்த முறை மிக நுட்பமானதல்ல.

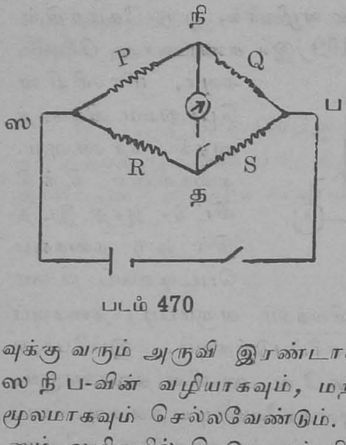


படம் 469

2. நாம் அளக்கவேண்டிய தகைவி ஒரு பெரிய அருவியைத் தாங்கக்கூடியதானால், அதன் வழியாக ஓர் அருவியைச் செலுத்தி, அவ்வருவியை ஓர் ஆம்பியர்மானியால் அளக்கவும். தகைவியின் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்புவேற்றுமையை ஒரு மின்மட்டமானியால் அளக்கவும். நிலைப்புவேற்றுமையை அருவி

யால் வகுக்கத் தகைவியின் அளவு கிடைக்கும். இவ்விடம் படம் 454-இல் உள்ளதுபோல மண்டலம் இருக்கும்.

3. வீட்ஸ்டன் வலையின் தத்துவம் (Wheatstone's net) :—தகைவுகளை ஒப்பிடுவதற்காக 'வீட்ஸ்டன்' ஒரு மிக நுணுக்கமான முறையைக் கையாண்டார். அது 'வீட்ஸ்டன்' வலை எனப்படும். இது பல துறைகளில் பெரிதும் கையாளப்படுகிறது. முறையே P, Q, R, S தகைவுகள் கொண்ட நான்கு உகைவிகளை எடுத்துக்கொள்வோம். அவற்றை (படம் 470) இல் கண்டபடி பிணைக்கவும். ஸ, ப என்ற முனைகளை ஒரு சேமத்தோடும், நி, த என்னும் முனைகளை ஒரு மின்னோட்டமானியோடும் பிணைக்கவும். மின்கடத்திலிருந்து ஸ-



படம் 470

வுக்கு வரும் அருவி இரண்டாகப் பிரிந்து, ஒரு பாகம் ஸ நி ப-வின் வழியாகவும், மற்றொன்று ஸ த ப-வின் மூலமாகவும் செல்லவேண்டும். ஸ நி ப, ஸ த ப என்னும் வழிகளில் நெடுக ஓர் நிலைப்பு வீழ்ச்சி இருக்க வேண்டும். P, Q, R, S என்னும் தகைவுகளைச் சரியானபடி மாற்றுவதால் மானியில் விலக்கம் ஏற்படாமல் செய்யலாம். அப்போது நி, த என்னும் கிளையில் அருவியோடாது. எனவே நி, த என்னுமிடங்கள் ஒரே நிலைப்பில் இருக்கவேண்டும். இது எவ்வாறு அமையும் எனக் காண்போம்.

ஸ நி ப, ஸ த ப என்னும் கிளைகளில் பாயும் அருவிகள் முறையே i_1, i_2 எனக் கொள்வோம். ஒவ்வொரு

உகைவியின் முனைகளுக்கிடையிலும் ஏற்படும் நிலைப்பு வீழ்ச்சியை ஓமின் விதியால் காண்போம்.

$V_{\text{ஸ}} - V_{\text{நி}}$ = ஸ, நி-க்களுக்கிடைப்பட்ட நி. வே.
$= i_1 P.$

$V_{\text{ஸ}} - V_{\text{த}}$ = ஸ, த-க்களுக்கிடைப்பட்ட நி. வே.
$= i_2 R.$

நி, த-க்கள் ஒரே நிலைப்பில் இருப்பதால்

$$V_{\text{நி}} = V_{\text{த}}.$$

மற்றும் $V_{\text{ஸ}} - V_{\text{நி}} = V_{\text{ஸ}} - V_{\text{த}}.$

அல்லது $i_1 P = i_2 R$..........(1)

இதுபோலவே $V_{\text{நி}} - V_{\text{ப}} = i_1 Q.$

$$V_{\text{த}} - V_{\text{ப}} = i_2 S.$$

நி, த-க்கள் ஒரே நிலைப்பில் இருப்பதால்

$V_{\text{நி}} - V_{\text{ப}} = V_{\text{த}} - V_{\text{ப}}$

அல்லது $i_1 Q = i_2 S$..........(2)

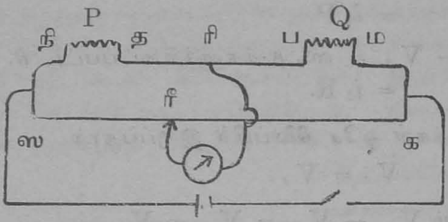
(1)ஐ (2) ஆல் வகுக்க $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

கடத்தையும் மானியையும் இடம் மாற்றினாலும் இதே நிபந்தனைக்குட்பட்டால் மானியில் அருவி செல்லாது. மேற்கண்ட உறவில் மூன்று தகைவுகளை அறிந்தால் நான்காவது தகைவைக் கணக்கிட்டு விடலாம்.

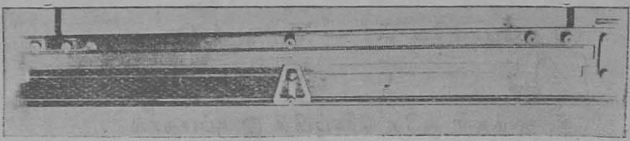
இந்த வீட்ஸ்டன் தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்ட இரண்டு கருவிகள் உள்ளன. அவையாவன :—

(1) வீட்ஸ்டன் இணைப்பு (Wheatstone's bridge) (2) தபால்ஆபீஸ் பெட்டி (Post office Box).

வீட்ஸ்டன் இணைப்பு :—ஸ, க என்னுமிரண்டிடங்களுக்கிடையே ஒரு சீரான நீண்ட கம்பி, ஒரு பீடப் பலகையின்மீது இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 471(1)



படம் 471 (2)

(படம் 471 (1), (2).) அதிலேமூன்று தடித்த ஸநி, தப, மக என்னும் செப்புப்பட்டைகள் இருக்கின்றன. இவற்றின் தகைவுகள் மிகக் குறைவாதலால் அவற்றைப் புறக்கணித்துவிடலாம். நாம் ஒப்பிடவேண்டியனவாகிய P, Q என்னும் இரண்டு தகைவிகளும் நித, பம என்னும் இடைவெளிகளில் பொருத்தப்படவேண்டும். கம்பியின் நீளம் 1 மீ. அல்லது $\frac{1}{2}$ மீட்டர் இருக்கும். ஸ, க என்னும் முனைகளை ஒரு சாவியின் மூலமாய்ஒரு 'டேனியல்' கடத்துடனாவது 'லக்ளாஞ்சிக்' கடத்துடனாவது பிணைக்கவும். ரி என்னும் மத்திய முனைக்கும் ரீ என்னும் ஜாக்கிக்கும் இடையே ஒரு மின்னோட்டமானியைப் பிணைக்கவும். ரீ என்னும் ஜாக்கியைப் பீடப் பலகையின்மேல், கம்பி நெடுக எந்த இடத்திலும் நிறுத்திக் கம்பியைத் தீண்டச் செய்யலாம். மானியில் விலக்

கம் ஏற்படாதபடி நாம் ரீ-யின் நிலையைச் சரிப்படுத்த வேண்டும். இதற்கு முதலில் ஒரு முனையில் ரீ-ஐ நிறுத்தி மானி விலகும் திசையைக் குறித்துக்கொண்டு, பிறகு மற்றொரு முனைக்கருகில் நிறுத்தி, மறுபடியும் விலகும் திசையைக் காணவேண்டும். இவ்விரண்டு விலக்கங்களும் எதிர்த்திசைகளில் ஏற்பட்டால் சம நிலைப்புள்ளி இவற்றினிடைப்பட்டது என அறியலாம். இவ்வாறில்லாமல் இரண்டு விலக்கங்களும் ஒரே திசையில் ஏற்பட்டால் P, Q-க்களில் ஒன்றைவிட மற்றொன்று மிகப் பெரிது என்றோ அல்லது நாம் தவறாகப் பிணைத்திருக்கிறோம் என்றோ தெரிந்துகொள்ளவேண்டும். மானியின் மூலமாய்ப் பெரிய அருவிகள் பாய்ந்துவிடாதிருப்பதற்காக அது கிளை பிரிக்கப்பட்டிருக்கவேண்டும். அல்லது ஒரு பெரிய தகைவியை மானியுடன் தொடரில் இணைக்கவேண்டும். P, Q என்னும் தகைவிகளும், ஜாக்கியால் வகுக்கப்பட்ட கம்பியின் இரு பாகங்களும் சேர்ந்து வீட்ஸ்டன் வலையின் நான்கு கைகளாகின்றன. P, Q என்னும் இரண்டும் ஏறக்குறைய ஒரே அளவினவாய் இருக்கவேண்டும். மானியில் விலக்கமேற்படாதபடி ஜாக்கியின் நிலையை நிர்ணயித்தவுடன், ஸரீ, ரீக என்னும் நீளங்களைப் பீடப்பலகையில் தைக்கப்பட்டிருக்கும் மீட்டர் அளவியிலே அளக்கவும். வெட்டுவாய் சீரானதாயின் ஒரு கம்பியின் தகைவு அதன் நீளத்திற்கு ஏற்றது. ஆகையால்

$$\frac{P}{Q} = \frac{\text{ஸரீ-யின் தகைவு}}{\text{ரீக-வின் தகைவு}} = \frac{l_1}{l_2}$$

X என்னும் ஒரு தகைவியை அளக்கவேண்டுமாயின், P, Q-க்களை நீக்கிவிட்டு, அதையொரு சந்திலும் ஒரு தகைவுப் பெட்டியை மற்றொரு சந்திலும் இடவும். ஜாக்கியைக் கம்பியின் நடுவிலே வைத்துத் தகைவுப் பெட்டியின் மூளைகளைப் பிடுங்கி, மானியின் உதவியால்

X-ன் தகைவைத் தோராயமாய் நிர்ணயிக்கவும். X-ஐயும் தகைவுப் பெட்டியையும் அப்படியே விட்டுவிட்டு, ஜாக்கியை நகர்த்தி, மானியில் விலக்கம் ஏற்படாத நிலையைத் திருத்தமாகக் காணவும். தகைவுப் பெட்டியில் எடுக்கப்பட்ட தகைவு R ஆனால்

$\frac{R}{X} = \frac{l_1}{l_2}$. இதில் l_1, l_2 என்பன ஸரீ, ரீக-களின் நீளங்களாகும்.

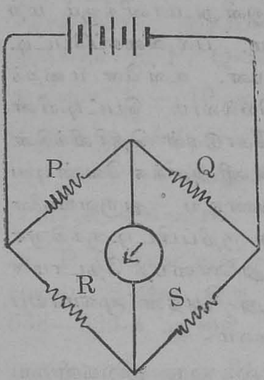
$$\text{எனவே } X = \frac{R\,l_2}{l_1}$$

ஒரே வெட்டுவாயையுடைய பல நீளங்கள் கொண்ட ஒரு உலோகத்தின் கம்பிகளையிட்டு அவற்றின் தகைவுகளை அளந்து, அவை நீளங்களுக்கு ஏற்பவுள்ளன என்ற உறவைக் காட்டலாம். ஒரே உலோகத்தாலான ஒரே நீளமும் ஆனால் வேறுபட்ட வெட்டுவாய்களையும் கொண்ட இரண்டு கம்பிகளை இட்டு, அவற்றின் தகைவுகளைக் கண்டு, அவை கம்பிகளின் வெட்டுவாய்ப் பரப்பிற்கு எதிர் விகிதமானவை யென்றும் காட்டலாம்.

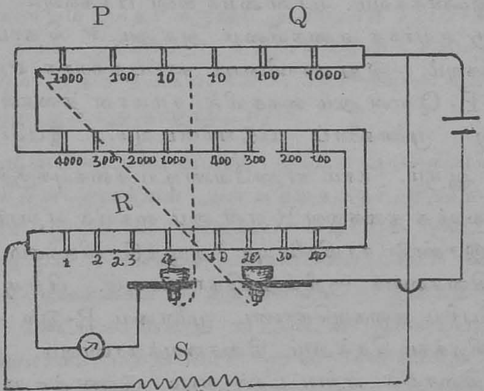
$R = \rho \frac{l}{\alpha}$ என்னும் உறவைக்கொண்டு ஒரு உலோகத்தின் உரிமைத் தகைவைக் காணலாம். இந்த உறவில் ρ என்பது உரிமைத் தகைவு.

தபால் ஆபீஸ் பெட்டி :—இதுவும் வீட்ஸ்டன் வலைத் தத்துவத்தைக்கொண்ட ஒரு கருவியேயாகும். முதலில் இது தபால் இலாகாவில் தந்திக் கம்பிகளின் தகைவுகளைக் காணுவதற்காகச் செய்யப்பட்டது. இதிலே பல கம்பிச் சுருள்கள் வரிசையாக வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவை வீட்ஸ்டன் வலையின் மூன்று கைகளாய் அமைகின்றன. அதன் நான்காவது கையே நாம் காணவேண்டிய தகைவு ஆகும். (படம் 472 (2)) இல்

கண்டிருக்கும் பொது அமைப்பிலிருந்து, தகைவுச் சுருள்களெல்லாம் மூன்று வரிசைகளில் அமைக்கப்பட்டிருப்பதைக் காணலாம். இந்த மூன்று வரிசைகளும் P, Q, R என்று பெயரிடப்பட்டிருக்கின்றன. நான்காவது கையாகிய S நாம் காணவேண்டிய தகைவாகும். P, Q என்னும் ஒவ்வொரு வரிசையிலும் மூன்று சுருள்கள் இருக்கின்றன. அவற்றின் தகைவுகள் முறையே 10, 100, 1000 'ஓம்' ஆகும். தக்கவாறு முளைகளைப் பிடுங்கி $\frac{P}{Q}$ வின் மதிப்பை முறையே ·01, ·1, 1, 10, 100 ஆகும்படி செய்யலாம். இந்த P, Q என்னும் இரண்டு கைகளும்



படம் **472** (1)



படம் **472** (2)

தகவுக் கைகள் (Ratio arms) எனப்படும். R என்னும் மூன்றாவது கையிலுள்ள சுருள்கள் 1 ஓமிலிருந்து

11,110 'ஓம்' வரை எந்தத் தகைவையும் உண்டாக்கும் படி அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இந்தப் பெட்டியில் இரண்டு சாவிகள் இருக்கும். ஒன்று மானிக்கும் மற்றொன்று கடத்திற்கும் பயன்படும். பல வகைப்பெட்டிகள் பலவாறு அமைக்கப்படுகின்றன. உள்ளே மறைந்திருக்கும் குறுக்கிணைவுகளை யெல்லாம் பெட்டியின் மேலே வரையப்பட்டிருக்கும் கோடுகள் தெரிவிக்கின்றன. சில பெட்டிகளில் கடம், மானி அளக்க வேண்டிய தகைவி இவற்றை இணைக்கவேண்டிய துருவங்களை முறையே BB, GG, XX என்று குறிப்பிட்டிருக்கிறார்கள். மாணவர்கள் அவற்றின் துணையைத் தேடாமல் தாங்களே ஒரு படம் வரைந்து அதன் மூலமாய்ப் பிணைக்கக் கற்றுக்கொள்ளுவது நலம்.

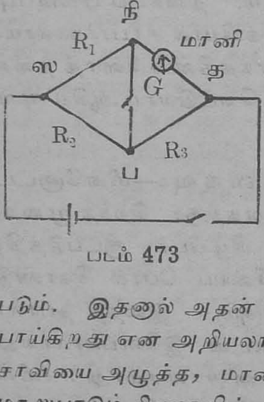
தபால் ஆபீஸ் பெட்டியால் ஒரு தகைவியை அளக்கும் முறை:—கடம், மின்னோட்டமானி, காணவேண்டிய தகைவி ஆகிய மூன்றையும் சரியான இடங்களில் இணைக்கவும். மானியைக் கிளை பிரிக்கவும். அல்லது ஒரு உயர்ந்த உகைவியை அதனுடன் தொடரில் இணைக்கவும். இது மானியைக் காப்பதற்காக ஏற்பட்டது. P, Q என்னும் கைகளில் சமமான தகைவு ஏற்படும்படி முளைகளைப் பிடுங்கிவிடவும். இப்போது $\frac{P}{Q} = 1$ ஆகும். நாம் காணவேண்டிய தகைவுக்குச் சற்றுக் குறைந்த தகைவை R என்னும் கையில் ஏற்படுத்தவும். இரண்டு சாவிகளையும் அழுத்தி விலக்கம் ஏற்படும் திசையைக் குறித்துக்கொள்ளவும். பிறகு ஒரு மிகப் பெரிய தகைவுகொண்ட முளையை R-இல் நீக்கிவிட்டு விலக்கம் செல்லும் திசையைக் காணவும். இது எதிர்த்திசையில் ஏற்பட்டால் நாம் இணைத்தது சரியென்று கொள்ளலாம். இதற்காக ஒரு கந்தழி முளை (Infinite plug) வைக்கப்பட்டிருக்கும். இப்போது தக்க முளைகளை R-இல் நீக்கி, விலக்கத்தைக் குறைத்து

S-இன் தகைவு கிடக்கும் இரண்டு எல்லைகளைக் காண வும். அது 6, 7 'ஓம்' களுக்கு இடைப்பட்டதென்று கொள்வோம். இப்போது Q-வைப் போல் P 10 மடங்கு இருக்கும்படி P, Q-க்களிலுள்ள முளைகளை நீக்கவும். இதனால் $\frac{P}{Q} = 10$ ஆகும். மறுபடியும் முன்போலவே S-இன் இரண்டு எல்லைகளைக் காணவும். அவை 63, 64 ஆனால் S-இன் தகைவு 6·3—6·4-க்கு உட்பட்ட தென்று அறியலாம். இப்போது $\frac{P}{Q} = 100$ ஆகும் படி P, Q-க்களிலுள்ள முளைகளை நீக்கிவிடவும். மறு படியும் S-இன் இரு எல்லைகளைக் காணவும். அவை 638—639-க் ஆனால் S-இன் தகைவு 6·38—6·39-க் குட்பட்டதென அறியலாம். இதைப் போலவே $\frac{P}{Q}$-வின் மதிப்பை 1,000 ஆகச் செய்யக்கூடுமானால் மூன்ருவது தசாம்ச நிலையையும் காணலாம். தகைவுப் பிணைப்பு விதிகளையும் இந்தக் கருவியினுதவியால் சரிபார்க்கலாம். ஒரு கம்பி ஆக்கப்பட்ட உலோகத்தின் உரிமைத் தகை வையும், அதன் தகைவு, நீளம், வெட்டுவாய் ஆகிய மூன் றையும் அளந்து கணக்கிடலாம்.

மின்னோட்டமானியின் தகைவு:—மின்னோட்ட மானியின் தகைவை அளவிடுவதற்குச் சிறந்த முறை, அதன் இயங்கும் கைகளைப் பிடிப்புக் குட்படுத்தி, அதை ஒரு சாமானிய உகைவியைப் போல் கொண்டு அதன் தகைவைக் காணுதலாகும். இதைத் தபாலா பீஸ் பெட்டியாலாவது வீட்ஸ்டன் இணைப்பாலாவது செய்யலாம். மற்றுமோர் முறை வருமாறு:—மின் னோட்டமானியை ஒரு மாருத மி.இ.ச. கொண்ட கடத் துடனும், ஒரு தகைவுப் பெட்டியுடனும் தொடரில் பிணைக்கவும். நல்ல விலக்கம் உண்டாகுமாறு தகைவுப் பெட்டியைச் சரிப்படுத்தவும். இப்போது மானிக்கு

இணையாக மற்ருெரு தகைவுப் பெட்டியைப் பிணைக்கவும். அதைச் சரிப்படுத்தி முன் கண்ட விலக்கத்திற்குச் சரிபாதியான விலக்கம் உண்டாகுமாறு செய்யவும். இரண்டாவது பெட்டியில் கண்ட r என்னும் தகைவே மின்னோட்டமானியின் தகைவு ஆகும். இதிலே நாம் மற்ருெரு தகைவுப் பெட்டியை இணைப்பதால், இந்த மண்டலத்தில் பாயும் மொத்த அருவி மாறவில்லை என்று கொள்கிருேம். இது உண்மை யாவதற்கு மானியின் தகைவைப்போல் தொடரில் பிணைத்த பெட்டியின் தகைவு குறைந்தது 20 மடங்காவது இருக்கவேண்டும்.

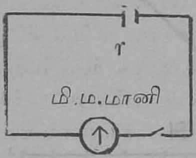
கேல்வின் முறை (Kelvin's method) :—ஸநி, நித, தப, பஸ என்பவை ஒரு வீட்ஸ்டன் வலையின் நான்கு கைகளாகும். (படம் 473). இவற்றின் தகைவுகள் முறையே R_1, G, R_3, R_2 ஆகும். G என்பது மின்னோட்டமானியின் தகைவு. ஸ, த என்னுமிடங்களுக்கிடையே ஒரு கடத்தையும் ஒரு சாவியும் பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மற்ருெரு சாவி சாமானியமாய் மின்னோட்டமானி இருக்கவேண்டிய இடத்தில் இருக்கிறது. முதல் சாவியை அழுத்த மானியில் ஒரு விலக்கம் காணப்படும். இதனுல் அதன் வழியாக ஒரு சீரான அருவி பாய்கிறது என அறியலாம். இப்போது இரண்டாவது சாவியை அழுத்த, மானியின் விலக்கத்தில் யாதொரு மாறுபாடும் நிகழாவிட்டால், நி-யும் ப-வும் ஒரே நிலைப்பில் இருக்கின்றன என்று ஊகிக்கலாம். ஆதலின்



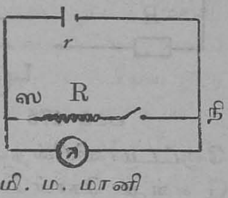
படம் 473

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{G}{R_3} \text{ அல்லது } G = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

மின்கல அடுக்கின் தகைவு:—மின்கல அடுக்கு அல்லது கடத்தின் அகத்தகைவைக் காணும் முறை வருமாறு:—கடத்தின் முனைகளை மின்மட்டமானியோடு பிணைத்து அதன் மி. இ. சக்தியை அளக்கவும். மின் மட்டமானியின் தகைவு மிக உயர்ந்ததாகையால், அதன் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமை முடியாத மண்டலத்திலே மின்கல அடுக்கின் மி. இ. சக்தியாகும். (படம் 474 (1)).



(1)



(2)

படம் **474**

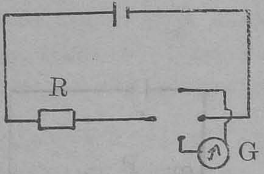
பிறகு (படம் 474 (2)) என்ற படத்தில் கண்டவாறு பிணைக்கவும். R என்பது மின்கல அடுக்கின் அகத்தகைவாகிய r ஐ நோக்க மிகப் பெரிதாய் இருக்க வேண்டும். சாவியை அழுத்தாதபோது முன்னே கூறியவாறு, முடியாத மண்டலத்திலே மின்கலஅடுக்கின் மி. இ. சக்தியை மின்மட்டமானியில் காணலாம். சாவியை அழுத்தினால் ஓமின் விதிப்படி $E = C(R+r)$. இதில் C என்பது மண்டலத்தில் பாயும் அருவி. ஸ, நி-க்களின் நிலைப்புவேற்றுமையை மின்மட்டமானி காட்டும். இதை E_1 என்று கொண்டால் $E_1 = CR$. ஆகையால்

$$\frac{E}{E_1} = \frac{C(R+r)}{CR} = \frac{R+r}{R}$$

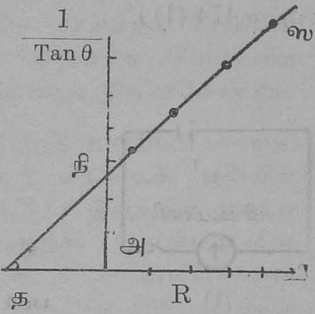
அல்லது $r = \dfrac{(E - E_1)R}{E_1}$

இதனால் மின்கல அடுக்கின் அகத்தகைவாகிய r கணக்கிடப்படும்.

இரண்டாவது முறை:—ஒரு கடத்தின் துருவங்களை ஒரு தகைவுப் பெட்டியின் (R) மூலமாயும், ஒரு மாற்றகத்தின் மூலமாயும், ஒரு மின்னோட்டமானியோடு தொடுக்கவும். (படம் 475). மின்



படம் 475



படம் 476

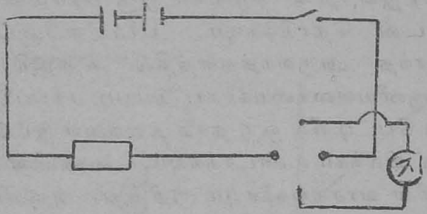
னோட்டமானியின் தகைவு G என்று கொள்வோம். தகைவுப் பெட்டியில் பல வேறு தகைவுகளையிட்டு, அவ்வப்போதும் மின்னோட்டமானியில் உண்டாகும் விலக்கங்களைக் குறித்துக்கொள்ளவும். தகைவுகளை படுக்கை இருசிலும், $\frac{1}{\tan\theta}$ என்பதை நிலை இருசிலும் கொண்ட ஒரு உருவகம் வரையவும். இது ஓர் நேர்கோடாக இருக்கவேண்டும். ஏனெனில் $C \propto \tan\theta$ என்றும் $C \propto \frac{1}{R}$ என்றும் நாமறிவோம். படத்தில் கண்ட நி ஸ-வை இந்த உருவகம் என்று கொள்வோம். (படம் 476). ஸ நி-ஐ நாம் பின்புறம் நீட்டினால் அது படுக்கை இருசை த என்ற இடத்தில் வெட்டும். இதில் அ த என்பது $(r + G)$யைக் காட்டுகிறது. மற்றும் த என்பது இந்த மண்டலத்தில் அருவி சூனியமாகும் நிலையாகும். எனவே, நாம் G-யை அறிவோமாதலால் r காண்பது எளிது.

கடங்களின் மின்னியக்க சக்தி :—பலவேறு வகைப் பட்ட கடங்களின் மி. இ. சக்திகளை ஒப்பிடப் பல எளிய முறைகள் உண்டு. நாம் ‘லக்ளாஞ்சுக்’ கடத்தையும் ‘டேனியல்’ கடத்தையும் எடுத்துக்கொள்வோம். ‘லக்ளாஞ்சுக்’ கடத்தை ஒரு தகைவுப் பெட்டி, ஒரு மாற்றகம், இவற்றின் வழியாய் ஒரு பரிசமின்னோட்ட மானியுடன் தொடுக்கவும். பரிசமின்னோட்டமானி யைக் காந்த துருவகத்தளத்தில் நிறுத்தி, அதன் கைகள் சூனியவரையைக் காட்டும்படி சரிப்படுத்தவும். தகைவுப் பெட்டியில் ஒரு தக்க தகைவை இட்டு, மானி யில் நல்ல விலக்கம் உண்டாக்கவும். கைகளின் இரண்டு முனைகளின் வாசகங்களையும் குறித்து, அருவியை இரு வழியிலும் செலுத்திப் பொதுமை விலக்கத்தைக் காண வும். அப்பொதுமை விலக்கம் θ_1 என்று கொள்வோம். ‘லக்ளாஞ்சுக்’ கடத்தை நீக்கிவிட்டு, அந்த இடத்தில் ‘டேனியல்’ கடத்தைப் பிணைத்துத் தகைவுப் பெட்டி யைச் சிறிதும் மாற்றுமல், மறுபடியும் பொதுமை விலக் கமாகிய θ_2-வைக் காணவும். நாம் மண்டலத்தில் இட்ட தகைவு, கடங்களின் அகத்தகைவுகளைவிடச் சாலப் பெரிது என்று கொண்டால், $E_1 = K\ R \tan\theta_1$. மற் றும் $E_2 = K\ R \tan\theta_2$. எனவரும். இதில் K என் பது மின்னோட்டமானியின் குணியமாகும். E_1, E_2 என்பன முறையே நாம் இட்ட இரண்டு கடங்களின் மி. இ. சக்திகள் ஆகும். ஒன்றை மற்றொன்றால் வகுக்க

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} \text{ ஆகும்.}$$

கூட்டல்-கழித்தல் முறை (Sum and difference method) :—மேற் கண்ட முறையிலே கடங்களின் அகத் தகைவுகளைக் கணக்கிடாது விட்டுவிடுவதால் அம்முறை திருப்திகரமானதல்ல. இந்தக் குறை கீழ்க்கண்ட முறையில் நிவர்த்திக்கப்பட்டிருக்கிறது. இரண்டு கடங்

களையும் தொடரிலே இரண்டு மி. இ. சக்திகளும் ஒரே திசையில் இருக்கும்படி பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. (படம் 477). இவை ஒரு தகைப்பு, ஒரு மாற்றகம் இவற்றின் மூலமாய் ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியுடன் பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. முன்போலவே பொதுமை



படம் **477**

விலக்கமாகிய θ_1-ஐக் காணவும். இதை உண்டாக்கும் மி. இ. ச. $(E_1 + E_2)$ ஆகும். மொத்தத் தகைவு $R + r_1 + r_2$ ஆகும். இதில் R, தகைப்பின் தகைவும் r_1, r_2 என்பன முறையே இரண்டு கடங்களின் அகத் தகைவுகளும் ஆகும்.

இப்போது கடங்களின் மி. இ. சக்திகள் ஒன்றிற்கொன்று முரணும்படி இணைக்கவும். அதாவது கடங்களின் குறை-முனைகளை ஒன்ருகப் பிணைத்து, அவற்றின் மிகைமுனைகளைப் மின்கல அடுக்கின் துருவங்களாகக் கொள்ளவும். முன்கண்டவாறே தகைப்பையும் பரிசமின்னோட்டமானியையும் பிணைக்கவும். பொதுமை விலக்கமாகிய θ_2-வைக் காணவும். இதை உண்டாக்கிய மி. இ. ச. $(E_1 - E_2)$ ஆகும். மண்டலத்தின் மொத்தத் தகைவு $R + r_1 + r_2$ ஆகும். ஓமின் விதியினுல்

$$E_1 + E_2 = (R + r_1 + r_2)\, K \tan \theta_1$$

$$E_1 - E_2 = (R + r_1 + r_2)\, K \tan \theta_2$$

ஒன்றை யொன்றால் வகுக்க

$$\frac{E_1 + E_2}{E_1 - E_2} = \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2}$$

$$\therefore \frac{E_1}{E_2} = \frac{\tan \theta_1 + \tan \theta_2}{\tan \theta_1 - \tan \theta_2}$$ ஆகும்.

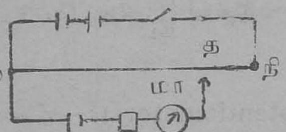
பல முறை வாசகங்களை எடுத்து $\frac{E_1}{E_2}$-வின் பொது மை மதிப்பைக் காணவும்.

நிலைப்புமானிகள் (Potentiometers) :—மின்னியக்க சக்திகளையும் நிலைப்பு வேற்றுமைகளையும் திருத்தமாக அளப்பதற்கு, நிலைப்புமானி ஒரு சிறந்த சாதனமாகும். இதிலே, ஒரு நீண்ட மெல்லிய கம்பி ஒரு பீடப் பலகையின்மீது இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு ஜாக்கி, கம்பியின் நெடுக சருக்கிச்சென்று, வேண்டிய இடத்திலே கம்பியைத் தீண்டும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்தக் கம்பி மிகவும் நீளமாய் இருப்பின், அதிக இடத்தை அடைக்காதிருப்பதற்காக அதை நெளித்துச் சேர்க்கப்பட்டிருக்கும். அல்லது பல கம்பிகளை இணையாக நீட்டிவைத்து, அடுத்தடுத்துள்ள கம்பிகள் தொடர்ந்து சேர்ந்திருக்கும்படி செய்யப்பட்டிருக்கும்.

இவையெல்லாம் சேர்ந்து ஒரு நீண்ட கம்பிபோலப் பயன்படும். கம்பியின் மொத்த நீளம் பொதுவாகப் 10 மீட்டர்கள் ஆகும். நாம் 1 மீட்டர் நீளமுள்ள கம்பியைக் கொண்ட நிலைப்புமானியைக் கொண்டே அதன் தத்துவத்தை விளக்குவோம்.

ஸ நி என்பது 1 மீட்டர் நீளமுள்ள கம்பி. (படம் 478). அதன் முனைகள் இரண்டு சேமங்களோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஸ என்னும் முனை மிகைத்துருவத்தோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அத

னால் ஸ-வினின்று நி வரை ஒரு நிலைப்பு வீழ்ச்சி ஏற்படுகிறது. கம்பி சீரானதாயின் நிலைப்பு-வீழ்ச்சியும் சீரானதாகும். நமக்கு வேண்டியபோது மட்டுமே அருவி பாயும்படி ஒரு சாவியும் இதில் சேர்க்கப்பட்டிருக்கிறது. இதைக்கொண்டு இரண்டு கடங்களின் மின்னியக்க சக்திகளை நாம் ஒப்பிடலாம். ஒரு 'லக்ளாஞ்'க் கடத்தையும் ஒரு 'டேனியல்' கடத்தையும் நாம் எடுத்துக்கொள்வோம். முதல் கடத்தின் மிகை முனையை



படம் 478

ஸ-வில் இணைத்து, மற்றொரு முனையை ஒரு மின்னோட்டமானி, ஒரு உயர்ந்த தகைவு ஆகிய இவற்றின் மூலமாய் ஜாக்கியோடு பிணைக்கவும். பிரதம மண்டலத்தில் அருவி பாயச்செய்து, ஜாக்கியை த என்னுமிடத்தில் தீண்டச் செய்வோம். பிரதம மண்டலத்தில் ஸ, த-வுக்கிடையே நிலைப்பு வேற்றுமை இருப்பதால் ஒரு அருவி 'லக்ளாஞ்சு'க் கடத்தின் மூலமாய் ஸ த என்ற திசையில் ஓட முயலுகிறது. ஆனால் இந்தக் கடத்தின் மி. இ. ச. இதற்கு எதிர்த்திசையில் ஒரு அருவியை ஓட்ட முயலுகிறது. 'லக்ளாஞ்சுக்' கடத்தின் மி. இ. சக்தியாகிய E_1, ஸ த-வுக்கு இடைப்பட்ட நிலைப்பு-வீழ்ச்சியைவிடப் பெரிதானால், ஒரு அருவி ஸ த மா என்ற திசையில் மின்னோட்டமானி மூலமாய்ப் பாயும். E_1 சிறியதானால், இந்த அருவி ஸ மா த என்ற திசையில் மானி மூலமாய்ப் பாயும். மானியின் விலக்கத்தைக்கொண்டு இவற்றை அறியலாம். எனவே, கடத்தின் மி. இ. சக்தியும் ஸ த-வின் நிலைப்புவீழ்ச்சியும் சமமானபோது மானியில் விலக்கம் ஏற்படாது. இப்போது மானியின் மண்டலத்தில் உள்ள உயர்ந்த தகைவை நீக்கிவிட்டு, த-வின் நிலையைத் திருத்தமாகக் காணவும். ஸ த-வின் நீளத்தை பிடப்பலகையில் தைத்திருக்கும்

அளவியினுல் தெரிந்துகொள்ளலாம். 'லக்ளாஞ்சு'க் கடத்தை நீக்கிவிட்டு, 'டேனியல்' கடத்தை அதே யிடத்தில் இட்டு, இவ்வாறே செய்து, அதன் சமநிலை யிடமாகிய தி-ஐக் கண்டு ஸ தி-ஐ அளக்கவும். அதன் மி. இ. சக்தியாகிய E_2, ஸதி-க்கு இடைப்பட்ட நிலைப்பு வீழ்ச்சிக்குச் சமமாகும். ஆகையால்

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\text{ஸ த-வுக்கு இடைப்பட்ட நிலைப்பு வீழ்ச்சி}}{\text{ஸ தி-வுக்கு இடைப்பட்ட நிலைப்பு வீழ்ச்சி}}$$

நிலைப்புமானிக் கம்பியின் மூலமாய்ச் செல்லும் சீரான அருவி i ஆனல், ஸ த-வுக்கு இடைப்பட்ட நிலைப்பு வீழ்ச்சி $= i \times$ ஸ த-வின் தகைவு.

ஸ தி-க்கு இடைப்பட்ட நி. வீழ்ச்சி

$= i \times$ ஸ தி-யின் தகைவு.

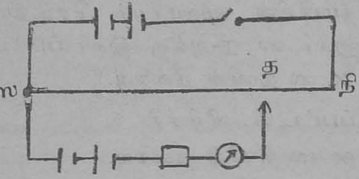
$$\text{ஆகையால்} \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{\text{ஸத}}{\text{ஸதி}} = \frac{l_1}{l_2}$$

இதில் கம்பி சீரான அளவுகளுள்ளதென்று கொள்ளப்பட்டது.

கடங்களின் மி. இ. சக்திகளைத் துலைப்படுத்துவதற்கு வேண்டிய கம்பியின் நீளங்களைக் கொண்டு அந்த மி. இ. சக்திகளை அளக்கிறோம். நிலைப்புமானியின் கம்பி 10 மீட்டர்கள் நீளமுள்ளதாயின் மி. இ. சக்திகளை இன்னும் திருத்தமாக அறியலாம். அதிலும் இதே முறையையே கையாளவேண்டும். எப்போதும் பிரதம மண்டலத்தின் சாவியை முன்னல் அழுத்திவிட்டுப் பிறகே ஜாக்கியை அழுத்தவேண்டும். மின்னோட்டமானியைப் பார்த்துத் தெரிந்துகொண்டவுடன் இரண்டையும் விட்டுவிடவேண்டும். இரண்டு கடங்களையும் துலைப்படுத்துவதற்கு வேண்டிய l_1, l_2 என்னும் நீளங்களைத் தனித்தனியே கண்டு அவற்றை வகுத்துத் தகவு காணவேண்டும். பிரதம மண்டலத்தில் பலவேறு

தகைவுகளை ஒரு தகைவுப் பெட்டியால் இட்டுப் பலவேறு வாசகங்கள் காணலாம். நாம் ஒப்பிடும் கடங்களின் மி. இ. சக்தி நாம் உபயோகிக்கும் சேமங்களின் மி. இ. சக்திக்கு மீறியதானால் துலைப்படுகிலை கிடைக்காது போய்விடும்.

இரண்டு கடங்களின் மி. இ. சக்திகளைக் கூட்டல்-கழித்தல் முறையாலும் காணலாம். அம்முறை வருமாறு :—(படம் 479). ஒப்பிடவேண்டிய கடங்கள் இரண்டையும் ஒன்றுக்கொன்று உதவும்படி தொடுத்து அவற்றின் மிகை முனையை ஸ-வுடன் சேர்க்கவும். குறை முனையை மின்னோட்டமானி, உயர்ந்த தொரு தகைவு இவற்றின் மூலமாய் ஜாக்கியுடன் பிணைக்கவும். ஸ த-வின் நீளமாகிய l_1-ஐக் காணவும். இப்போது நாம் கொண்ட கடங்களின் மி. இ. சக்தி $(E_1 + E_2)$ ஆகும். பிறகு இரண்டு கடங்களையும் ஒன்றிற்கொன்று முரணும்படி அவற்றின் குறைமுனைகளைப் பிணைத்து மிகுந்த வலிவுள்ள 'லக்ளாஞ்சு'க் கடத்தின் மிகை முனையை ஸ-வுடனும், 'டேனியல்' கடத்தின் மிகை முனையை ஜாக்கியுடனும் பிணைத்து, மறுபடியும் ஸதி-யின் நீளமாகிய l_2-வைக் காணவும். இப்போது கடங்களின் மி. இ. சக்தி



படம் 479

$E_1 - E_2$ ஆகும். எனவே,

$$\frac{E_1 + E_2}{E_1 - E_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

அல்லது $$\frac{E_1}{E} = \frac{l_1 + l_2}{l_1 - l_2}$$

E_1 தெரிந்தால் E_2 வைக் கணக்கிடலாம்.

உதாரணம் 1. ஒரு வீட்ஸ்டன் இணைப்பின் ஒரு சிறையிலே 10 'ஓம்' தகைவு நிற்க, 100 செ. மீ. நீளமுள்ள தந்தியிலே, 20 செ. மீ. தூரத்திலே துலைப்பாடு நிகழ்ந்தது. 10 'ஓம்' தகைவை எடுத்துவிட்டு வேறொரு தகவை அங்கே பிணைக்கத் தந்தியின் நடு மையத்திலே துலைப்பாடு நிகழ்ந்தது. பின்னல் இணைக்கப்பட்ட தகைவியின் அளவு காண்க.

வீட்ஸ்டன் இணைப்பின் வாய்பாடு வருமாறு :—

$$\frac{r_1}{R} = \frac{l_1}{l_2}$$

இதிலே r_1 என்பது அளக்கவேண்டிய தகைவு. R என்பது இணைப்பில் நிரந்தரமாக நிற்கும் கட்டளைத் தகைவு. l_1, l_2 என்பன தந்தியின் இரண்டு கண்டங்கள். கணக்கில் கண்ட ராசிகளை இடவே,

$\frac{10}{R} = \frac{20}{80}$ முதல் துலைப்பாடு.

இதில் R = 40 'ஓம்'

ஆனல் $\frac{r}{R} = \frac{50}{50}$ இரண்டாவது துலைப்பாடு.

எனவே r = R.

இதனல் r = 40 'ஓம்' என்றாகிறது.

இரண்டாவது இணைக்கப்பட்ட தகைவியின் அளவு 40 'ஓம்' ஆகும்.

உதாரணம் 2. 2 'ஒல்ட்' மி. இ. சக்தியும், மிக அற்பமான அகத்தகைவும் கொண்ட தொரு சேமக் கடம், ஒரு நிலைப்புமானியின் 500 செ. மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் முனைகளோடு பிணைக்கப்பட்டது. மற்றொரு கடத்தைப் பிணைத்தபோது 350 செ. மீ. தூரத்திலே

துலைப்பாடு நிகழ்ந்தது. இக்கடத்தின் மி. இ. சக்தியைக் காண்க.

நிலைப்பு வானிக்குரிய வாய்பாடு

$$\frac{E_1}{E} = \frac{l_1}{l}$$

இதில் E_1 என்பது அளவிடவேண்டிய கடத்தின் மி. இ. சக்தி.

l என்பது கம்பியின் மொத்த நீளம்.

l_1 என்பது துலைப்படுவதற்குரிய நீளம்.

கணக்கிலே கண்ட ராசிகளை ஈடிடவே

$\frac{E_1}{2} = \frac{350}{500}$ அல்லது $E_1 = 1{\cdot}4$.

எனவே, பின்னால் பிணைத்த கடத்தின் மி. இ. சக்தி 1·4 'ஓல்ட்' ஆகும்.

உதாரணம் 3. 3:8 என்ற தகவிலே மி. இ. சக்தி கொண்ட இரண்டு கடங்களும் ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியும் ஒரு மண்டலத்திலே தொடுக்கப்பட்டன. மானியின் விலக்கம் 65°. கடங்களை ஒன்றையொன்று முரணும்படி பிணைத்துவைத்தால் விலக்கம் எவ்வளவு இருக்கும்?

கடங்களின் மி. இ. சக்திகள் முறையே $3x$, $8x$ என்று கொள்வோம்.

ஒரே திசையிலே தொடுக்கப்பட்டபோது மி. இ. சக்தி $E_1 = 3x + 9x = 11x$.

எதிர்த்திசையில் தொடுத்தால் மொத்த மி. இ. சக்தி $E_2 = 7x - 3x = 5x$ ஆகும்.

இதனால் மண்டலத்தில் ஏற்படும் அருவியும் மி. இ. சக்திக்கு ஏற்றதாகும். இவ்வருவிக்கு விலக்கத்தின்

tan. ஏற்ப இருக்கும். எனவே $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}$

இராசிகளை ஈடிடவே

$$\frac{11\,x}{5\,x} = \frac{\tan 65^\circ}{\tan\theta_2}$$

அல்லது $\tan\theta_2 = \frac{5}{11}\tan 65^\circ = \cdot 9747.$

ஆகையால் $\theta_2 = \tan^{-1}(\cdot 9747) = 44^\circ 15'$

கடங்களை எதிர்த்துத் தொடுத்தால் ஏற்படும் விலக்கம் $44^\circ 15'$

உதாரணம் 4. ஒரு கிலேப்புமானியிலே இரண்டு கடங்களைத் தொடுத்துப் பிணைத்தபோது, அவற்றின் மி. இ. சக்தி 130 செ. மீ. நீளமுள்ள கம்பியால் குறிக்கப்பட்டது. அவற்றிலொன்றை மாற்றிப் பிணைக்க மி. இ. சக்தி 20 செ. மீ. நீளத்தால் குறிக்கப்பட்டது. ஒரு 'ஓல்ட்' மி. இ. சக்தி வாய்ந்த கட்டலைக் கடத்திற்குரிய நீளம் 55 செ. மீ. இவற்றைக்கொண்டு அவ்விரண்டு கடங்களின் மி. இ. சக்திகளைக் கணக்கிடுக.

அவற்றின் மி. இ. சக்திகளை E_1, E_2 என்று குறிப்பிடுவோம்.

$E_1 + E_2 = 130.$

$E_1 - E_2 = 20.$

ஆகையால் $E_1 = 75$; $E_2 = 55.$

1 'ஓல்ட்' = 55 செ. மீ.

எனவே $E_1 = \frac{75}{55} = 1\cdot 36$ 'ஓல்ட்'

$E_2 = \frac{55}{55} = 1$ 'ஓல்ட்'

எனவே, இக்கடங்களின் மி. இ. சக்திகள் முறையே 1·36 'ஓல்ட்', 1 'ஓல்ட்' ஆகும்.

வினாக்கள்

1. வீட்ஸ்டன் வலையின் தத்துவத்தை விளக்குக. ஒரு தபால்-ஆபீஸ் பெட்டியைக் கொண்டு ஒரு கம்பியின் தகைவை எவ்வாறு காணலாமென்று விளக்கிக் கூறுக.

(ஆந்திரா : செப். 1932)

2. ஒரு கம்பியின் மின்சாரத் தகைவைக் காண்பதற்குரிய தொரு முறையை விவரித்துக் கூறுக. இம் முறையின் காரணங்களை விளக்கி, இதில் கையாளும் கருவிகளின் அமைப்புக்குரிய படமொன்றை வரையவும்.

(சென்னை : செப். 1925)

3. ஒரு உகைவியின் உரிமைத்தகைவு என்றால் என்ன? வீட்ஸ்டன் வலையைக் கொண்டு எவ்வாறு தகைவிகளை ஒப்பிடலாமென்று காட்டுக.

100 செ. மீ. நீளமும் 0·5 மி. மீ. தடிப்பு கொண்டதொரு கம்பியின் தகைவு, 0° சூட்டிலே, 2·4 ஓமாக இருந்தது. அதன் உரிமைத்தகைவு காண்க. சூட்டைக் குறிப்பிடவேண்டிய அவசியம் யாது?

(சென்னை : செப். 1929)

4. (a) ஒரு தபால்-ஆபீஸ் பெட்டியைக் கொண்டு ஒரு கம்பியின் தகைவைக் காணுவதற்குரிய பிணைப்புகளைக் காட்டுக. அதைக் காணுவதற்குரிய செயல் முறையையும் விளக்குக.

(b) ஒரு மின்மட்டமானியின் தகைவு 400 'ஓம்'. 4 'ஓம்' அகத்தகைவு கொண்டதொரு மின்கல அடுக்கின் மி. இ. சக்தியை இதைக்கொண்டு அளப்பதால் ஏற்படும் பிழையின் சதவிதம் யாதாகும்?

(ஆந்திரா : மார்ச்சு, 1934)

5. ஒரு கம்பியின் உரிமைத்தகைவைக் காணும் முறையையும் அதற்கு வேண்டிய கருவிகளையும் விவரித்துக் கூறுக.

A, B, C, D, என்ற சுருள்களின் தகைவுகள் முறையே 4, 4, 4, 6 'ஓம்' ஆகும். இவற்றை ஒரு வீட்ஸ்டன் வலையாக அமைத்தால், அது துலைப்படுவதற்கு D-யை எத்தகைய தகைவோடு குறுகச் செய்ய வேண்டும்?

(அண்ணாமலை : ஏப்ரல், 1935)

6. ஒரு வீடஸ்டன் இணைப்பிலே 100 செ. மீ. நீளமுள்ள தந்தியொன்றிருக்கிறது. இடைவெளிகளிலே முறையே 3 'ஓம்', 3·5 'ஓம்' கொண்ட தகைவிகளைப் பூட்டியபோது துலைப்படு நிலையைக் காண்க.

7. A என்னுமொரு கடத்தையும் ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியையும் சில தகைவிகளையும் தொடர்ந்து பிணைத்தபோது, மானியின் விலக்கம் 30° ஆகவிருந்தது. இந்த மண்டலத்தை மாற்றாமல் A என்ற கடத்திற்குப் பதிலாக B என்னும் மற்றொரு கடத்தைப் பூட்டியபோது விலக்கம் 45° ஆயிற்று. இக்கடங்களின் தகைவுகள் மிக அற்பமானவை எனக்கொண்டு அவற்றின் மி. இ. சக்திகளைக் காண்க.

8. A, B என்ற இரண்டு கடங்கள் ஒரு தகைவிப் பெட்டியோடும் ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியோடும் தொடர்ந்து பிணைக்கப்பட்டன. மானியின் விலக்கம் 60° ஆக இருந்தது. கடங்களை முரணும்படி பிணைத்த போது விலக்கம் 30° ஆயிற்று. A-யின் மி. இ. சக்தி 2 'ஓல்ட்' என்று கொண்டு, மற்றொரு கடத்தின் மி. இ. சக்தியைக் காண்க.

9. ஒரு கடம் 200 'ஓம்' தகைவு கொண்டதொரு பரிசமின்னோட்டமானியோடு பிணைத்தபோது 45° விலக்கம் மானியில் ஏற்பட்டது. இதே மானியோடு

அதிக மி. இ. சக்திகொண்ட மற்றொரு கடத்தைப் பிணைத்தபோது, விலக்கத்தை 45°-க்குக் கொண்டுவருவதற்காகப் பின்னும் 66·6 'ஓம்' இம்மண்டலத்திலே சேர்க்கவேண்டியிருந்தது. கடங்களின் அகத்தகைவுகளை நீக்கிவிட்டு அவற்றின் மி. இ. சக்திகளை ஒப்பிடுக.

10. பரிசமின்னோட்டமானியைக் கொண்டு எவ்வாறு இரண்டு கடங்களின் மி. இ. சக்திகளை ஒப்பிடக் கூடுமென்பதை விளக்குக.

3 'டேனியல்' கடங்களும், மிகக் குறைந்த தகைவு கொண்டதொரு பரிசமின்னோட்டமானியும், 3 'ஓம்' கொண்ட ஒரு தகைவியும் தொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மானியின் விலக்கம் 45°. 'டேனியல்' கடத்தின் மி. இ. சக்தி 1·1 'ஓல்ட்' என்றும், அதன் அகத்தகைவு 0·5 'ஓம்' என்றும் கொண்டு மானியின் குணியத்தைக் கணக்கிடவும்.

(சென்னை : செப். 1924)

11. இரண்டு கடங்களின் மி. இ. சக்திகளைத் திருத்தமாக ஒப்பிடுவதற்கானதொரு முறையை விவரித்துரைக்கவும். முறையே 1 'ஓம்', 3 'ஓம்' அகத்தகைவு கொண்ட இரண்டு கடங்கள் ஒவ்வொன்றாக ஒரு பரிச மின்னோட்டமானியோடு இணைக்கப்படுகின்றன. இவற்றாலாகிய விலக்கங்கள் முறையே 30°, 22° இருந்தனவென்றால், அந்த இரண்டு கடங்களையும் ஒப்பிடுக.

(சென்னை : செப். 1922)

12. ஒரு மண்டலத்திலே மாறாத மி. இ. சக்தி கொண்டதொரு மின்கலவடுக்கும் ஒரு மாறியல் தகைவியும், 0·5 'ஓம்' கொண்ட கட்டளைத் தகைவியும் தொடர்ந்து பிணைக்கப்படுகின்றன. கட்டளைத் தகைவியின் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமை, ஒரு நிலைப்புமானியிலே 250 செ. மீட்டர் நீளங்கொண்ட

தந்தியால் துலைப்படுத்தப்பட்டது. இதே நிலைப்புமானியில் 1·43 ‘ஓல்ட்’ மி. இ. சக்தி கொண்டதொரு கட்டலைக் கடத்தின் துலைப்படு நிலை 143 செ. மீ. ஆனால் மண்டலத்தில் மின்னருவியின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

13. 12 ‘ஓம்’ தகைவுகொண்ட நிலைப்புமானித் தந்தியின் முனைகளோடு 4 ‘ஓல்ட்’ மி. இ. சக்தியும், 4 ‘ஓம்’ அகத்தகைவும் கொண்டதொரு கடம் பிணைக்கப்பட்டது. இதைக்கொண்டு ஒப்பிடக்கூடிய மி. இ. சக்திகளின் எல்லைகள் யாவை?

14. இரண்டு கடங்களின் மி. இ. சக்திகளை நிலைப்புமானியைக் கொண்டு எவ்வாறு காணலாமென்று விளக்குக.

மிக அற்பமான அகத்தகைவையும், 2·1 ‘ஓல்ட்’ மி. இ. சக்தியும் கொண்ட இரண்டு கடங்கள் ஒரு தகைவுப் பெட்டியோடும், 0·1 ‘ஓம்’ கொண்டதொரு தகைவியோடும் தொடர்ந்து பிணைக்கப்பட்டன. தகைவியின் முனைகளுக்கிடையே $\frac{1}{100}$ ‘ஓல்ட்’ நிலைப்புவேற்றுமை இருக்கவேண்டுமானால் பெட்டியிலே எவ்வளவு தகைவை ஏற்படுத்தவேண்டும்.

(அண்ணாமலை : 1934)

15. ஒரு பலகையின்மீது மெல்லியதொரு கம்பி இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. இதனோடு 4 ‘ஓல்ட்’ மி. இ. சக்தியும், 2 ஓம் அகத்தகைவும் கொண்டதொரு மின்கலவடுக்கு பிணைக்கப்பட்டது. கம்பியின் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்புவேற்றுமை 3 ‘ஓல்ட்’ ஆனால் கம்பியின் தகைவைக் கணக்கிடுக. இந்த கம்பியைக் கொண்டு இரண்டு கடங்களின் மி. இ. சக்திகளை எவ்வாறு ஒப்பிடலாமென்று எடுத்துக் கூறுக.

(சென்னை : செப். 1931)

16. ஒரு நிலைப்புமானியைக்கொண்டு இரண்டு கடங்களின் மி. இ. சக்திகளை எவ்வாறு ஒப்பிடலாமென்று விவரித்துக் கூறுக.

இரண்டு கடங்கள் இருக்கின்றன. ஒன்றின் மி. இ. சக்தி 2 ‘ஓல்ட்’. மற்றொன்றின் மி.இ. சக்தி இதற்குச் சிறிதே அதிகமானது என்று தெரிகிறது. ஒரு நிலைப்புமானியை மட்டும் வைத்துக்கொண்டு, இரண்டாவது கடத்தின் மி. இ. சக்தியை எவ்வாறு காண்பதென்று விளக்கிக் கூறுக. இக்கடங்களின் அகத்தடைவுகள் அற்பமானவை.

(சென்னை : மார்ச். 1926)

17. ஒரு ‘டேனியல்’ கடத்தை இயற்றும் முறையையும், அதில் நிகழும் இரசாயன மாறுபாடுகளையும் விவரித்துரைக்கவும்.

நிலைப்புமானியைக் கொண்டு இரண்டு கடங்களின் மி. இ. சக்திகளை எவ்வாறு ஒப்பிடலாமென்பதைக் கூறுக. கருவியமைப்புகளைத் தெளிவான படம் வரைந்து காட்டுக.

(சென்னை, மார்ச்சு 1924)

———

அத்தியாயம் 6

மின்னருவியின் வெப்பவியல் விளைவுகள்
(Heating effects of electric current)

மின்னருவி தான் பாய்ந்து செல்லும் உகைவியைச் சூடேறச் செய்கிறது. மின்சார விளக்குகளே இதற்குத் தக்க சான்றாகும். விளக்கில் உள்ள மெல்லிய கம்பித் திரியானது அதன் வழியாகப் பாயும் அருவியால் வெண்தழல் நிலைக்கு (White heat) சூடேற்றப்படுகிறது. பல திறப்பட்ட மின்னடுப்புகளெல்லாம் (Electric ovens) இந்தத் தத்துவத்தையே அடிப்படையாகக் கொண்டவை. இவ்வாறு சூடேறுதலைத் தவிர, இன்னும் பல வெப்பவியல் விளைவுகளும் உண்டு. ஒரு அருவி இரண்டு வெவ்வேறான உலோகத் துண்டுகளின் பொருத்துவாய் வழியாகப் பாய்ந்தால், அந்த இடத்தின் சூடு வேறுபடுகிறது. இம்மாறுபாடும் அருவியோடும் திசையைச் சார்ந்திருக்கிறது என்று தெரிகிறது. அருவி ஒரு திசையில் சென்றால் பொருத்துவாய் சூடேறுகிறது. எதிர்த்திசையில் சென்றால் அது சூடு குறைந்து குளிர்ச்சியடைகிறது. நாம் முன்னால் கூறிய சூடேறுதலையே விரிவாக ஆராய்வோம். அருவியோடும் ஒரு கம்பியில் A, B என்ற இரண்டு இடங்களைக் குறித்துக்கொள்வோம். அருவி A-யினின்று B-யை நோக்கி ஓடுகிறது என்றும், அதனால் A, B-யை விட உயர்ந்த நிலைப்பில் இருக்கிறது என்றும் கொள்வோம். உகைவி சூடேறுகிறது. 'ஆற்றலின் அழிவின்மை' என்னும் விதியால் இந்த வெப்பத்தை உண்டாக்க, இதற்கு ஒப்புமையான மற்றொரு வகை ஆற்றல் மறைந்திருக்கவேண்டும். அதாவது இந்த இரண்டிடங்களுக்

கிடையே ஆற்றலின் தோற்ற மாறுபாடு நிகழ்ந்திருக்கிறது. மின்னாற்றல் வெப்ப ஆற்றலாக மாறியிருக்கிறது. இதே மின்னாற்றல் இயக்கவியல் ஆற்றலாகவோ, இரசாயன ஆற்றலாகவோ அல்லது வேறெவ்வகை ஆற்றலாகவோ மாறியிருக்கலாம். எப்படியாயினும் தோற்றம் மாறிய ஆற்றலின் இயக்கவியல் ஒப்புமையானது, A, B என்னுமிரண்டிடங்களுக்கிடையே ஏற்பட்ட நிலைப்புவேற்றுமைக்கும், அவற்றினிடையே பாய்ந்த மின்சாரத்தின் அளவுக்கும் ஏற்பவுள்ளது. மின்-காந்தத் திட்டத்திலே வழங்கும் நிலைப்புவேற்றுமை அலகு 'ஓல்ட்' ஆகும். அந்த இரண்டு இடங்களுக்கிடையே ஒரு 'கூலம்' மின்சாரம் பாய்ந்தபொழுது, அதற்காகச் செய்யப்பட்ட வேலை ஒரு 'ஜூல்' ஆயின் (10^7 எருக்குகள்), அவ்விரண்டு இடங்களுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமை ஒரு 'ஓல்ட்' ஆகும். எனவே, இரண்டு இடங்களுக்கிடையே உள்ள நிலைப்பு வேற்றுமை E 'ஓல்ட்' கள் ஆனபோது, அவற்றினிடையே Q கூலங்கள் கொண்ட மின்சாரம் பாய்ந்து சென்றால், அதனால் செய்யப்பட்ட வேலை E Q ஜூல்கள் ஆகும்.

'விசை' என்பது வேலை செய்யும் விகிதம் என்று வரைவிலக்கணம் கூறப்பட்டது. எனவே ஒரு செகண்டிற்கு இத்தனை அலகு கொண்ட வேலை செய்யப்பட்டது என்று அறியலாம். விசையை அளப்பதற்காகக் கையாளப்படும் அலகு 'வாட்' ஆகும். இது ஜூலுக்குச் சம்பந்தப்பட்டது. செகண்டிற்கு ஒரு 'ஜூல்' வீதம் வேலை செய்வதற்கு வேண்டியவிசை ஒரு 'வாட்' ஆகும். இதற்கு ஆயிரமடங்கான கிலோவாட் என்னும் அலகும் கையாளப்படுகிறது. இது வர்த்தக சங்கத்தாரின் (Board of trade) அலகு என வழங்கப்படும். கிலோ-வாட்-மணி என்பது செகண்டிற்கு ஒரு கிலோவாட் வீதம் ஒரு மணி நேரம் செய்த வேலைக்கு

வேண்டிய ஆற்றல் ஆகும். அது 36×10^5 ஜூலிகளுக்குச் சமமாகும். இயக்கவியலில் பொதுவாக வழங்கும் குதிரை-விசையைப் போன்று 1·34 மடங்கு கொண்டது ஒரு கிலோவாட் ஆகும்.

ஒரு உகைவியில் அருவியோடும்போது அதனால் ஏற்படும் ஆற்றலை இயக்கவியல் வேலைக்கோ, இரசாயன வேலைக்கோ, அல்லது வேறெவ்வித வேலைக்கோ பயன் படுத்தாதபோது' அது வெப்பஆற்றலாக வெளிப்படுகிறது. ஒரு உகைவியில் அருவி பாய்வதால் உண்டாகும் வெப்பம் H என்றும், ஜூலின் ஒப்புமை J என்றும் கொள்வோம். அருவி பாய்வதால் ஏற்படும் வேலை E Q ஆகும். உண்டாகிய வெப்பத்திற்கு ஒப்புமையான வேலை J H ஆகும். எனவே $EQ = JH$ ஆகும். மற்றும் $Q = ct$ ஆகும். இதில் c என்பது அருவி, t என்பது நேரம். அதனால் $Ect = JH$. ஓமின் விதியைப் பிரயோகித்து $c^2 Rt = JH$ என்று கூறலாம். இதில் R என்பது உகைவியின் தகைவு. மேற்கண்ட உறவு ஜூலின் விதி எனப்படும்.

இதில் அடங்கி இருக்கும் உண்மைகள் வருமாறு:—

(1) ஒரு உகைவியில் ஏற்படும் வெப்பம் அதன் வழியாகப் பாயும் அருவியின் வருக்கத்திற்கு ஏற்பவுள்ளது.

(2) உண்டாகிய வெப்பம் உகைவியின் தகைவுக்கு ஏற்றது.

(3) உண்டாகிய வெப்பம் அருவியோடும் நேரத்திற்கு ஏற்றது.

மேற்கூறியவற்றின் உண்மையைப் பரிசோதித்து அறியவேண்டுமாயின், $Ect = JH$ என்னும் உற

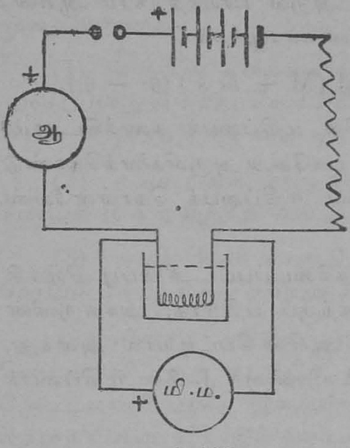
வைக் கொண்டால் நாமறிந்த அளவுள்ள ஒரு அருவி யோடுவதால் ஏற்பட்ட வெப்பத்தையும், அருவி ஓடிய நேரத்தையும், நிலைப்புவேற்றுமையையும் அளத்தல் வேண்டும். $c^2 R t = J H$ என்ற உறவைக் கொண்டால் உகைவியின் தகைவும், அருவியின் பலமும் அருவி யோடிய நேரமும் தெரியவேண்டும்.

இதற்காக ஒரு விசேஷமான வெப்பமானி உபயோகிக்கப்படுகிறது. பட்டினால் உறையிடப்பட்ட மெல்லிய ஜெர்மன் - வெள்ளியால் செய்த கம்பிச்சுருள், ஒரு வெப்பமானியில் உள்ள தண்ணீர் அல்லது உரிமை-வெப்பம் தெரிந்த மற்றொரு திரவத்தில் முழுக்கி வைக்கப்பட்டிருக்கும். கம்பிச்சுருளின் தகைவு இரண்டு அல்லது மூன்று 'ஓம்' இருக்கும். கம்பிச்சுருளின் முனைகள் இரண்டு தடித்த செப்புக்கம்பிகளோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும். இச்செப்புக்கம்பிகள் வெப்பமானியின்மீது மூடப்பட்டுள்ள ஒரு மூடியின்மீதுள்ள இரண்டு பிடிப்புத் திருகுகளில் சென்று முடிவடையும். இம்மூடியில் இரண்டு துவாரங்கள் உண்டு. ஒன்றின் வழியாக உஷ்ணநிலைமானியும் மற்றொன்றின் வழியாக ஒரு கலக்குங் கோலும் உட்செல்லும்.

J-ஐ காணுதல் :— வெப்பமானியைக் காலியாக வைத்து நிறுக்கவும். அதில் வேண்டிய அளவுக்குத் தண்ணீர் எடுத்துக்கொண்டு மறுபடியும் நிறுக்கவும். வெப்பமானியை அதற்குரிய பெட்டியினுள் வைக்கவும். படம் 480-இல் கண்டவாறு பிணைப்புகளைச் செய்யவும்.

நான்கு கடங்களைக்கொண்ட ஒரு மின்கல அடுக்கு ஒரு தகைப்பு, சூடேறும் சுருள், ஒரு ஆம்பியர்மானி, ஒரு சாவியாகிய இவற்றை ஒரு மண்டலமாகத் தொடுக்கவும். சுருளின் முனைகளுக்கிடையே அதற்கு இணை

யாக ஒரு மின்மட்டமானியை இணைக்கவும். சிறிது நேரம் அருவியை ஓடச்செய்து அருவியின் பலத்தைத் தகைப்பின் துணையால் வேண்டிய அளவிற்குச் சரிப்படுத்திக்கொள்ளவும். உள்ள தண்ணீரை நன்கு கலக்கி, அதன் சூட்டை ஒரு உஷ்ணநிலைமானியால் நிர்ணயிக்கவும். அருவியையும் ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தையும் ஒரே சமயத்தில் ஓடச்செய்யவும். அரைநிமிஷத்திற் கொருமுறை ஆம்பியர்மானி, மின்மட்டமானி இவற்றின் வாசகங்களைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். சிறிது நேரம் கழித்து, சூடு சில பாகைகள் ஏறியவுடன் அருவியை நிறுத்திவிட்டுத் தண்ணீரை நன்றாகக் கலக்கி உச்சநிலைச்சூட்டை உஷ்ணநிலைமானியால் அளவிடவும். நிற்க,



படம் 480

m = வெப்பமானியின் நிறை,

M = எடுத்துக்கொண்ட நீரின் நிறை,

s = வெப்பமானி செய்யப்பட்ட உலோகத்தின் வெப்ப-உரிமை,

θ_1 = முதலில் கண்ட சூடு,

θ_2 = இறுதியில் கண்ட சூடு என்று கொள்வோம்.

வெப்பமானியும் அதிலுள்ள நீரும் ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பமாகிய $H = (M + ms)(\theta_2 - \theta_1)$. E, c, t

என்பன முறையே மின்மட்டமானியின் வாசகம், ஆம்பியர்மானியின் வாசகம், அருவி பாய்ந்தநேரம் ஆயின், செலவழிக்கப்பட்ட மின்னியல் ஆற்றல்

$$E c t = J H = J (M + m s) (\theta_2 - \theta_1).$$

இதிலிருந்து J-யின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். இதே பரிசோதனையைப் பலவேறு அருவிகளைக்கொண்டு செய்து J-யின் பொதுமை மதிப்பைக் கொள்ளவேண்டும்.

சுருளின் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்பு வீழ்ச்சியாகிய E-யை அளப்பதற்குப் பதிலாக, அச்சுருளின் தகைவாகிய R-ஐ தபால் ஆபீஸ் பெட்டியால் அளந்து, $c^2 R t = J H$ என்னும் உறவினால் J-யின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

ஒரு பரிசமின்னோட்டமானியையும் மாற்றகத்தையும் கொண்டும் இந்த பரிசோதனையைச் செய்யலாம். இதில் மின்னோட்டமானியின் குணியத்தை நாமறிந்திருக்கவேண்டும். பரிசமின்னோட்டமானியைத் தகைப்பினின்று நெடுந்தூரத்தில் வைக்கவேண்டும். அருகில் இருக்குமாயின், தகைப்பில் உள்ள கம்பிச் சுருளில் அருவி ஓடுவதால் ஏற்படும் காந்தப்புலம், பரிசமின்னோட்டமானியைத் தாக்கி, அதன் வாசகத்தை வேறுபடுத்திவிடும்.

இதே பரிசோதனையை ஒரு திரவத்தின் வெப்ப-உரிமையைக் காணுவதற்கும் கையாளலாம். இப்போது நாம் J-யின் மதிப்பைத் தெரிந்ததாகக் கொள்ளவேண்டும். மேற்கண்ட வாய்பாட்டில் s-ஐத் தவிர மற்ற ராசிகளை நாம் அறிவோமாதலின் s-இன் மதிப்பை எளிதில் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

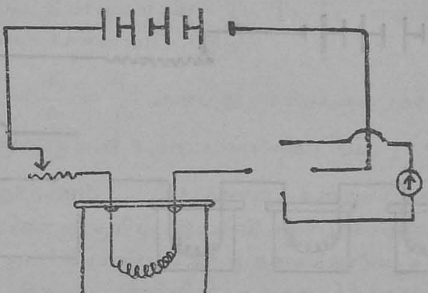
ஜூலின் விதியைச் சரிப்பார்த்தல் :—J H = c^2 R t என்னும் உறவின் உண்மையைச் சரிபார்க்கும் முறை வருமாறு.

(1) சுருளின் தகைவும் (R) அருவி பாய்ந்த நேரமும் (t) மாறுதிருக்க, வெளியிடப்பட்ட வெப்பம் அருவியின் வருக்கத்திற்கு ஏற்பவுள்ளது என்று காட்டுதல்.

(2) c-யும் t-யும் மாறுதிருக்க, வெளியிடப்பட்ட வெப்பம் R-க்கு ஏற்றது என்று காட்டுதல்.

(3) c-யும் R-ம் மாறுதிருக்க, வெளியிடப்பட்ட வெப்பம் நேரத்திற்கு ஏற்றது என்று காட்டுதல்.

ஒரு மின்கல அடுக்கு, ஒரு மாற்றகம், ஜூலின் வெப்பமானி, ஒரு மாறியில் தகைவி, ஒரு பரிசமின்னேட்டமானி ஆகிய இவற்றைக்கொண்ட ஒரு மண்டலத்தை (படம் 481)இல் கண்டவாறு தொடுக்கவும்.



படம் 481

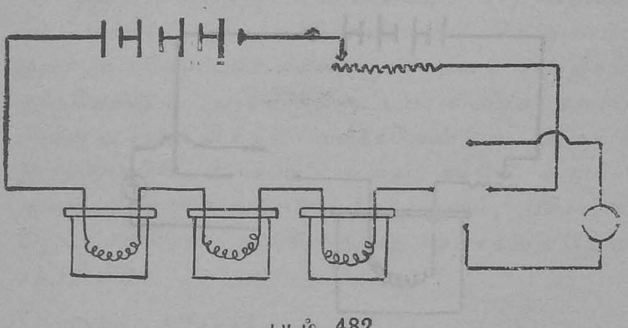
(1) முதலில் கூறியதைச் சரிபார்க்க ஒரே நேரத்திற்குப் பலவேறு வகைப்பட்ட அருவிகளைச் செலுத்தி, அவ்வப்போது ஏற்படும் சூட்டுயர்வுகளைக் குறித்துக் கொள்ளவும். பரிசமின்னேட்டமானியில் பாயும் அருவி

tan θ விற்கு ஏற்றது; இதில் θ என்பது விலக்கம். மூன்று அருவிகளை முறையே செலுத்தியபோது ஏற்பட்ட பொதுமை விலக்கங்கள் $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ என்றும், அவ்வப்போது ஏற்பட்ட சூட்டுயர்வுகள் T_1, T_2, T_3 என்றும் கொள்ளவும்.

$$\frac{T_1}{\tan^2 \theta_1} = \frac{T_2}{\tan^2 \theta_2} = \frac{T_3}{\tan^2 \theta_3}$$

என்ற உறவு சரியானுல் நாம் முதலில் கூறியது உண்மையாகும்.

(2) இரண்டாவது உறவைச் சரிபார்க்க:— முறையே R_1, R_2, R_3 தகைவுகள் கொண்ட மூன்று சுருள்களையும், ஒரு மின்கல அடுக்கையும், தகைப்பையும், ஒரு மாற்றகத்தின் மூலமாய் ஒரு மின்னேட்டமானியுடன் ஒரு மண்டலமாகத் தொடுக்கவும். (படம் 482). வெப்பமானிகளை யெல்லாம் தனித்தனியே காலி



படம் 482

யாகவும், தண்ணீருடனும் நிறுக்கவும். M_1, M_2, M_3 என்பன முறையே மூன்று வெப்பமானிகளில் உள்ள தண்ணீரின் நிறை எனவும், W_1, W_2, W_3 என்பன அவற்றின் நீர் ஒப்புமை எனவும் கொள்வோம். மண்டலத்தில் ஒரு தக்க அருவியைச் சிறிது நேரம்

செலுத்தவும். ஒவ்வொரு வெப்பமானியிலும் ஏற்படும் சூட்டுயர்வைக் குறித்துக்கொள்ளவும். T_1, T_2, T_3 என்பன முறையே அவற்றின் சூட்டுயர்வுகள் எனக் கொள்வோம். R_1, R_2, R_3 என்னும் தகைவுகளை ஒரு தபால்-ஆபீஸ் பெட்டியால் அளக்கவும்.

இதில்

$$\frac{(M_1 + W_1)\,T_1}{R_1} = \frac{(M_2 + W_2)\,T_2}{R_2} = \frac{(M_3 + W_3)\,T_3}{R_3}$$

என்பது சரியானல் நாம் மேற்கூறிய இரண்டாவது உறவு உண்மையாகும்.

3. மூன்ருவது உறவைச் சரிபார்க்க; முதல் உறவைப் பரிசோதித்தபோது செய்தபடியே பிணைப்புகளைச் செய்யவும். இதற்கு ஒரே வெப்பமானி போதுமானது. ஒரு தக்க அருவியை t_1, t_2, t_3 என்னும் பல வேறு நேரங்களுக்குச் செலுத்தி, அவ்வப்போது ஏற்படும் சூட்டுயர்வுகளான T_1, T_2, T_3 என்பவற்றைக் குறித்துக்கொள்ளவும். இதில்

$\frac{T_1}{t_1} = \frac{T_2}{t_2} = \frac{T_3}{t_3}$ என்பது சரியானல் நாம் மேற்கூறிய மூன்ருவது உறவு உண்மையாகும்.

உதாரணம் 1. 20 கிராம் தண்ணீரிலே முழுகி இருக்குமொரு குமிழ், இரண்டு ஈயச் சேமக்கடங்களோடும், 6 'ஓம்' கொண்டதொரு தகைவோடும் தொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. குமிழின் தகைவு 14 'ஓம்' என்று கொண்டு, தண்ணீரில் சூடு ஏறும் வேகத்தைக் கணக்கிடவும்.

மண்டலத்தின் மொத்தத் தகைவு $6 + 14$
$= 20$ 'ஓம்.'

கடங்களின் நிலைப்பியல் $2 \times 2 = 4$ 'ஓல்ட்.'

இதிலோடும் அருவி $= \frac{4}{20}$ 'ஆம்பியர்.'

ஒரு செகண்டில் செய்யும் வேலை $= c^2 R$

$= \left(\frac{4}{20}\right)^2 \times 20 = \frac{4}{5}$ 'ஜூல்'.

இதற்குரிய வெப்ப-ஒப்புமை $= \frac{4}{5} / 4{\cdot}2$

$= 0{\cdot}19$ கனலி

தண்ணீரின் நிறை 20 கிராம்.

எனவே செகண்டுக்குச் சூடு ஏறும் வேகம் $\frac{\cdot 19}{20} c$

அல்லது நிமிஷத்திற்கு $\frac{\cdot 19 \times 69}{20} = 5{\cdot}7\ c$ ஆகும்.

உதாரணம் 2. ஒருமின்சாரக்கொதிகலத்திலே 5 'ஆம்பியர்' அருவி 100 ஓல்டுகளிலே பாய்கிறது. இதனுள்ளேயிருக்கும் 1 லிட்டர் தண்ணீரின் சூடு $15°c$. வெப்பம் வீணாகாதிருப்பதாகக் கொண்டால் இத்தண்ணீர் கொதிக்க எவ்வளவு நேரமாகும்?

தண்ணீரின் நிறை 1,000 கிராம்.

அதற்கு ஏறவேண்டிய சூடு $= 100 - 15 = 85°c$

இதற்கு வேண்டிய வெப்பம் $= 1{,}000 \times 85$
$= 85{,}000$ கனலி.

இதற்குச் செய்யவேண்டிய வேலை $85000 \times J$
$= 85{,}000 \times 4{\cdot}2$ 'ஜூல்'

அருவியின் வலிமை 5 'ஆம்பியர்'.

அதன் நிலைப்பியல் 100 'ஓல்ட்'.

ஆகையால் ஒரு செகண்டில் அது செய்யும் வேலை
$5 \times 100 = 500$ 'ஜூல்'.

எனவே 85,000 × 4·2 'ஜூல்' வேலையைச் செய் வதற்காகும் நேரம் $\frac{85000 \times 4 \cdot 2}{5 \times 100} = 714$ செக. ஆகும்.

அதாவது $\frac{714}{60} = 11 \cdot 9$ நிமிஷங்கள் ஆகும்.

எனவே தண்ணீரைக் கொதிக்கவைப்பதற்கு 11·9 நிமி. ஆகும்.

உதாரணம்,3. ஒரு வீட்டில் பத்து 30 'வாட்' விளக்குகள் இருக்கின்றன. நாளொன்றுக்கு 3 மணி வீதம் விளக்குகள் எரிகின்றன. மின்சார விசையின் விலை கிலோவாட்மணிக்கு 4 அணா. 30 நாட்கள் கொண்ட ஒரு மாதத்திற்கு விளக்குச் செலவு என்னவாகுமென்று கணக்கிடுக.

மொத்தம் வீட்டில் எரியும் விளக்குகளின் விசை 30 × 10 = 300 'வாட்டு'

ஒரு நாளுக்கு ஆகும் விசை 300 × 3 = 900 வாட் மணி.

ஒரு மாதத்திற்கு செலவாகும் விசை

$= 900 \times 30$ வாட்டுமணி $= \frac{900 \times 30}{1000}$

$= 27$ கி. வாட்டுமணி.

இதன் விலை $\frac{27}{4}$ = ரூ **6—12—0**

வினுக்கள்

1. ஜூலின் விதியை எடுத்துக் கூறுக. 20 ‘ ஓம் ’ தகைவுடைய ஒரு கம்பிச்சுருள் நீரிலே முழுக்கப் பட்டு, அதன் வழியே 2 ‘ ஆம்பியர் ’ கொண்ட அருவி 20 நிமிஷங்களுக்குச் செலுத்தப்படுகிறது. இதிலே செலவழியும் ஆற்றலைக் கணக்கிடுக. இதைக்கொண்டு எவ்வாறு J காணலாம்.

(காசி : 1930)

2. மின்னருவி பாய்ந்து செல்லுமொரு கம்பியிலே சூடேறும் வேகம், அக்கம்பியின் தகைவு, அருவியின் வலிமை ஆகிய மூன்றையும் தொடுக்கும் தொடர்பை எடுத்துக் கூறுக.

இந்தத் தொடர்பின் உண்மையைச் சரிபார்ப்பதற்கானதொரு பரிசோதனையை விவரித்துரைக்கவும்.

ஒரு செப்பு வெப்பமானியின் நீர் ஒப்புமை 10. இதில் 50 கிராம் தண்ணீர் இருக்கிறது. இதில் முழுகியுள்ள 1·5 ‘ ஓம் ’ தகைவுகொண்ட கம்பியிலே, 2 ‘ ஆம்பியர் ’ அருவி 3 நிமிஷங்களுக்குப் பாய்கிறது. சூட்டுயர்வைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை : மார்ச், 1923)

3. மின்சாரவியலிலே கையாளப்படும் பிரயோக அலகுகள் யாவை? அவற்றின் பரஸ்பரத் தொடர்பு யாது? 1,000 கிராம் எண்ணெயிலே ஒரு கம்பிச்சுருள் முழுகி நிற்கிறது. அதன் முனைகளுக்கிடையே 200 ‘ ஓல்ட் ’ வேற்றுமை ஏற்படுத்தப்பட்டுள்ளது. இதிலே அருவியோடும்போது 5 நிமிஷங்களிலே எண்ணெயின் சூடு $10^\circ C$ யிலிருந்து $30^\circ C$-க்கு உயருகிறது. கம்பிச்சுருளின் தகைவு யாதாகும்?

(எண்ணெயின் உரிமை-வெப்பம் = 1·1)

(ரங்கூன், 1933)

4. அருவியைக்கொண்டு செல்லுமொரு கம்பியில் உண்டாகும் வெப்பத்தைப்பற்றிய 'ஜூல்' விதியை எடுத்துரைக்கவும்.

5 'ஓம்' தகைவு கொண்டதொரு கம்பியின் முனைகள், 1 'ஒல்ட்' நிலைப்புவேற்றுமையிலே வைக்கப்பட்ட போது, 5 நிமிஷங்களிலே அதில் எவ்வளவு வெப்பம் உண்டாகுமென்று கணக்கிடுக.

(சென்னை, மார்ச். 1925)

5. ஒரு உகைவியிலே மின்னருவி பாய்வதினாலேற்படும் வெப்பத்திற்கு ஒரு வாய்பாட்டைக் காணவும்.

ஒரு கம்பிச்சுருள் வெப்பமானியிலேயுள்ள தண்ணீரில் முழுகியிருக்கிறது. இதன் வழியாக 3 'ஆம்பியர்' அருவி பாயும்போது, அரைமணி நேரத்திலே 3,857 கனலி வெப்பம் உண்டாகிறது. வெப்பத்தின் இயக்கவியல் ஒப்புமை 4·2 'ஜூல்' என்று கொண்டு, அக்கம்பிச் சுருளின் தகைவைக் கணக்கிடவும்.

(லண்டன், ஜூலை, 1926)

6. ஒரு கிலோவாட் மணி மின்சாரத்தின் விலை 5 அணு. ஒரு மாளிகையிலே 16-ஐம்பது திரி (Candle power) விளக்குகள் (அரைவாட்டு கொண்டன.) நாளைக்கு நான்குமணி விதம் எரிந்ததானால் வாரத்திற்கு என்ன செலவாகும் ?

(அண்ணுமலை, 1930)

7. ஒரு கம்பியிலே மின்னருவி பாய்வதால் உண்டாகக்கூடிய வெப்பத்தைக் காட்டுவதோர் வாய்பாட்டைக் காண்க. இதை எவ்வாறு பரிசோதனையால் சரி பார்க்கலாம்.

ஒரு 400-வாட்டு விளக்கை 200 'ஒல்ட்' மண்டலத்திலே பிணைத்திருக்கும்போது அதன் தகைவையும்

அதன் வழியாகச் செல்லும் அருவியையும் காண்க. ஒரு கிலோவாட்டுமணி மின்சாரத்தின் விலை 6 அணு ஆனுல், இத்தகைய விளக்கை 1,000 மணி நேரம் உபயோகிக்க என்ன செலவாகும்?

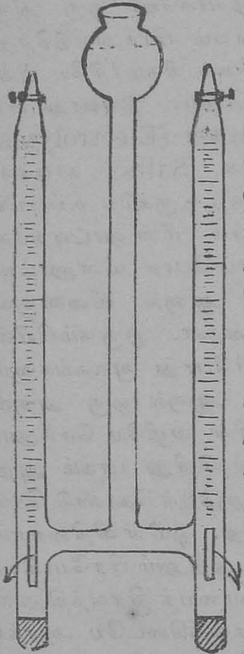
(சென்னை, மார்ச். 1929)

அத்தியாயம் 7

மின்னருவியின் இரசாயன விளைவுகள்
(Chemical effects of electric current)

வளாவிய காடியின் வழியாகவோ அல்லது ஒரு உலோக உப்புக் கரைநீரின் வழியாகவோ ஒரு அருவியைச் செலுத்தினால், அத்திரவம் பிரிந்துவிடுகிறது என்று நாமறிவோம். இவ்வியற்கை நிகழ்ச்சியே மின்னூட்டம் (Electrolysis) எனப்படும். இவ்வாறு பிரிவடையும் திரவங்கள் மின்னூட்டிகள் (Electrolytes) எனப்படும். எல்லாவித உப்புகள் (Salts), காடிகள் (Acids), காரங்கள் (Alkalies), உருக்கிய உப்புகள் (Fused Salts) இவையெல்லாம் மின்னூட்டிகளே யாகும். எனவே, உலோகங்களைப் போல மின்னூட்டிகளும் மின்னுகைவிகளேயாம்; ஆனால் மின்னருவி பாயும்போது இவை பிரிவடைகின்றன. ஒரு கம்பியின் வழியாக மின்னருவி பாயும்போது மூலகங்களும் அணுக்களும் இயங்குவதில்லை. ஆனால் ஒரு அருவி காடி அல்லது உப்புக் கரைநீரின் வழியே செல்லும் போது கரைந்த பொருளிற் சிறிது பாகம் அது நுழைந்து வெளிப்படும் இடங்களுக்குக் கொண்டு செல்லப்பட்டு அங்கே பிரிவடைகின்றது. ஓமின் விதியையும் ஜூலின் விதியையும் மின்னூட்டத்திலும் பிரயோகிக்கலாம். ஆனால் நிலைப்புவேற்றுமையைத் திரவத்தினுள் முழுகியிருக்கும் இரண்டு முனைகளுக்கிடையே அளக்க வேண்டும். மின்னூட்ட உகைவிகளும் உலோக உகைவிகளைப் போலவே காந்தப்புலத்தை உண்டாக்குகின்றன. 'பாரடே' தான் மின்னருவிகள் கரைநீர்களின் வழியாகப் பாய்வதற்குரிய விதிகளைக் கண்டுரைத்தார். மின்னருவி நுழைந்து வெளிச் செல்லும் உலோக மின்முனை

கள் மின்துருவங்கள் எனப் பெயர் பெறும். அவை தகடுகளாகவோ அல்லது கம்பிகளாகவோ இருக்கும். அருவி நுழையும் துருவம் மிகைத் துருவம் என்றும், அருவி வெளியேறும் துருவம் குறைத்துருவம் என்றும் வழங்கப்படும். குறைத்துருவத்தின் அருகில் வெளியிடப்படும் தாதுக்கள் (Elements) (அல்லது தாதுச் சேர்க்கைகள்) மின்மிகைத் தாதுக்கள் அல்லது சேர்க்கைகள் என வழங்கும். மிகைத் துருவத்தின் அருகில் வெளிவருவன மின்குறைத் தாதுக்கள் அல்லது சேர்க்கைகள் என வழங்கும். பொதுவாக உலோகங்களும் நீரகமும் மின்மிகைத் தாதுக்களாகும். அலோகங்கள் (non-metals) மின்குறைத் தாதுக்களாகும்.



படம் 483

மின்னூட்டத்தின் நடைமுறையை நன்றாய் அறியும்பொருட்டு, நாம் தண்ணீரின் மின்னூட்டத்தை எடுத்து விளக்குவோம். தூய தண்ணீர் மின்னுகைவியல்ல. ஆனால் சிறிதளவு காடி அல்லது காரம் அதில் கலந்திருப்பின் அது மின்னுகைவியாய்விடுகிறது. (படம் 483)இல் காட்டியபடி ஒரு கலத்தில் சிறிது கந்தகக் காடி கலந்த நீரைவிட்டு நிரப்பி, அதனுள்ளே பிளாடினத் துருவங்களின் மூலமாய் ஒரு அருவியைச் செலுத்தினால், மின்துருவங்களில் இருந்து வாயுக் குமிழிகள் கொப்புளித்து வருவ

தைக் காணலாம். துருவங்கள் வெவ்வேறு குழாய்களி லுள்ளிருப்பதால் இவ்வாறு வெளிவரும் வாயுக்களை நாம் பிடித்து வைத்து அளக்கலாம். குறைத்துருவத்தி னருகே வெளிவரும் வாயுவின் அளவு, மிகைத்துரு வத்தினருகே வெளிவரும் வாயுவினளவைப் போல் இரண்டு மடங்காய் இருப்பதை எளிதில் அறியலாம். இவற்றைத் தக்க சோதனைகளைச் செய்து குறைத்துரு வத்தினருகே வெளிவந்த வாயு நீரகம் என்றும், மற்றது பிராணவாயு என்றும் அறியலாம். இவ்விரண்டும் சேர்ந்தே நீராகிறது.

$$H_2 So_4 \longrightarrow H_2 + So_4$$
$$So_4 + H_2O \longrightarrow H_2 So_4 + O.$$

கந்தகக்காடி முதலில் நீரகமாகவும், So_4 சேர்க்கை (radical) யாகவும் பிரிகிறது. இந்த நீரகம் குறை முனையருகில் வெளிப்படுகிறது. So_4 சேர்க்கை தனித்து வாழ இயலாது. எனவே அது நீரோடு கலந்து மறு படியும் கந்தகக் காடியை உண்டாக்கிப் பிராணவாயுவை வெளியிடுகிறது. கடைசியாக நீர் பிரிவடைந்து கந்த கக் காடி தன்னிலையிலேயே இருப்பினும் அருவியோடு வதற்குக் கந்தகக் காடியே துணைபுரிகிறது.

பலவகைப்பட்ட மின்னூட்டிகளின் வழியாக அரு விகளைச் செலுத்தி அளவிட்டதன் பயனாக, அவற்றில் ஏற்படும் இரசாயன மாறுபாட்டைப்பற்றி 'பாரடே' கீழ்க்கண்ட இரண்டு விதிகளை வெளியிட்டார்.

விதி I. ஒரு மின்னூட்டியின் வழியாக ஒரு மின் னருவி பாய்வதால் வெளியிடப்படும் பொருளின் நிறை, அதன் வழியாகப் பாய்ந்த மின்சாரத்தின் அளவுக்கு ஏற்பவுள்ளது.

பாய்ந்த மொத்த மின்சாரத்தின் அளவு, அருவி யின் பலத்துக்கும், அருவி பாய்ந்த நேரத்திற்கும் ஏற்ற

தாதலின் முதல் விதியைப் பின்வருமாறு எடுத்துக்கூற லாம்.

ஒரு மின்னூட்டியின் வழியாக ஒரு மின்னருவி பாய்வதால் வெளியிடப்படும் பொருளின் நிறை அருவி யின் பலத்துக்கும் அருவி பாய்ந்த நேரத்திற்கும் ஏற் றது.

விதி II. மின்னூட்டத்தால் வெளியிடப்பட்ட எந் தப் பொருளின் நிறையும் அந்தப் பொருளின் இரசா யன ஒப்புமைக்கு ஏற்றது.

மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமையின் (Electro-Chemical equivalent) வரைவிலக்கணத்தை முதல் விதியிலிருந்து எடுத்துரைக்கலாம்.

ஒரு அலகு கொண்ட மின்சாரத்தால் வெளியிடப் பட்ட பொருளின் நிறை, அப்பொருளின் மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமையாகும். அதாவது ஒரு 'கூலம்' மின்சாரம் பாய்ந்ததால் வெளியிடப்பட்ட நிறையே, அப்பொருளின் மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமையாகும் என்று கூறலாம்.

c அளவுள்ள அருவி t செகண்டுகளுக்குப் பாய்ந் தால் வெளியிடப்பட்ட பொருளின் நிறை m ஆயின் $m = ect$ ஆகும். இதில் e என்பது அப்பொருளின் மின்னியல் இரசாயன ஒப்புமையாகும்.

இரண்டாவது விதியிலிருந்து ஒரு பொருளின் மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமை அதன் இரசாயன ஒப்பு மைக்கு ஏற்றது என்று தெளிவாகத் தெரிகிறது. ஒரு தாதுவின் இரசாயன ஒப்புமை என்பது அதன் அணு நிறையை (Atomic weight) அதன் கூட்டெண்ணால் (Valency) வகுக்க வந்த ஈவு ஆகும்.

கீழ்க்கண்ட அட்டவணையைக் கவனித்துப் பார்க்க.

பொருள்	கூட்டெண்	அணுநிறை	மின்-இரசாயன ஒப்புமை
பாசிகம்	1	35·46	·0003676
செம்பு	1 அல்லது 2	63·57	·0003293
நீரகம்	1	1·008	·00001044
பிராணவாயு	2	16	·00008293
வெள்ளி	1	107·88	·0011183
உவரம்	1	23·0	·0002384

செம்பு, வெள்ளி, பிராணவாயு ஆகியவற்றின் அணுநிறைகள் முறையே 63·57, 107·88, 16·000, 1·008. வெள்ளியும் நீரகமும் ஒற்றைக் கூட்டெண்ணை உடையன. பிராணவாயுவின் கூட்டெண் 2. செம்பின் கூட்டெண் 2. ஆதலின் செம்பு, வெள்ளி, பிராணவாயு, நீரகம் இவற்றின் இரசாயன ஒப்புமைகள் முறையே 31·78, 107·88, 8·00, 1·008 ஆகும். அவற்றின் மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமைகளும் அட்டவணையில் காணப் படுகின்றன. எனவே இரண்டாவது விதிப்படி

$$\frac{\cdot 0003294}{31\cdot 78} = \frac{\cdot 0011183}{107\cdot 88} = \frac{\cdot 00008294}{8\cdot 000}$$

$$= \frac{\cdot 00001044}{1\cdot 008}$$ ஆகவேண்டும்.

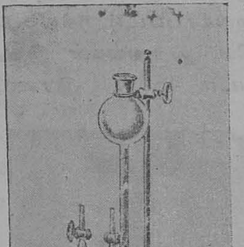
இது உண்மையென்பது தெளிவாகிறது. மேலே கண்டது போன்ற வொரு சமீகரணத்தால், இரண்டு தாதுக்களின் இரசாயன ஒப்புமை தெரிந்திருந்தால்,

ஒரு தாதுவின் மின்னியல் இரசாயன ஒப்புமையை, மற்ருெரு பொருளின் மின்னியல் இரசாயன ஒப்புமையைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். வெள்ளியையே கட்டளைத் தாதுவாகக் கொண்டு அதன் மின்னியல் இரசாயன ஒப்புமையை மிகத் திருத்தமாக அளந்திருக்கிருர்கள். ஒரு தாதுவுக்கு இரண்டு கூட்டெண்கள் இருப்பின் ஒவ்வொரு கூட்டெண்ணுக்கும் ஒன்ருக அதற்கு இரண்டு மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமைகள் உண்டு. அட்டவணையில் செம்புக்குக் கண்ட மதிப்பு அதன் உயர்ந்த கூட்டெண் நிலைமைக்காகும். அதன் தாழ்ந்த கூட்டெண்ணுக்குரிய மின்னியல் இரசாயன ஒப்புமை இதன் இருமடங்காகும்.

ஒல்டாமானிகள் :—$m = ect$ என்னும் உறவிலிருந்து t செகண்டுகளுக்கு அருவியோடுவதால் வெளியிடப்பட்ட பொருளின் நிறையாகிய m-ஐ அளவிட்டு, e-யின் மதிப்பை நாமறிந்திருப்பின் அருவியாகிய c-யை நாம் எளிதில் கணக்கிட்டுவிடலாம். மின்னேட்டமானி போன்ற கருவிகளைக் கட்டளைப்படுத்துவதில், அருவியை அளப்பதற்கு மேலே கண்ட உறவு பெரிதும் பயன்படுகிறது. இவ்வாறு மின்னூட்டக்கடங்கள் அருவிகளை அளக்கவும் கருவிகளைக் கட்டளைப்படுத்தவும் பயன்படும்போது அவற்றை ஒல்டாமானிகள் என வழங்குவர். பொதுவாக மூன்று வகை ஒல்டாமானிகள் வழங்கப்படுகின்றன. அவையாவன : தண்ணீர் ஒல்டாமானி, செம்பு ஒல்டாமானி, வெள்ளி ஒல்டாமானி. முதலில் கூறிய கருவியில் நிறுக்கவேண்டிய அவசியம் இல்லாமையால் மிக விரைவில் அளவுகளைக் கண்டுவிடலாம். ஆனல் அவை திருத்தமாக இரா. ஆயிரத்தில் ஒரு பங்குப் பிழையைப் பொறுக்கக்கூடுமானல் செம்பு ஒல்டாமானியைக் கையாளலாம். இன்னும் மிகத் திருத்தமாக அளக்கவேண்டிய இடங்களில் வெள்ளி ஒல்டா

மானியைக் கையாளுவார்கள். இம்மூன்று வகை ஓல்டா மானிகளையும் பற்றி நாம் சற்று விவரமாக விசாரிப்போம்.

தண்ணீர் ஓல்டாமானி :—(படம் 484)ஐப் பார்க்கவும். இரண்டு செங்குத்தான கண்ணாடிக்குழாய்களின் அடியில் இரண்டு பிளாடினம் கம்பிகள் ஊதிப் பற்றவைக்கப் பட்டிருக்கின்றன. பிளாடினம் கம்பிகளின் நுனியில் சிறிய பிளாடினம் தகடுகள் பற்றவைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவ்விரண்டு கண்ணாடிக் குழாய்களுக்கிடையே மற்றொரு குழாய் இருக்கிறது. இம்மூன்று குழாய்களும் ஒன்றோடொன்று போக்குவரவுச் சம்பந்தமுடையவை. முதலில் நடுவிலுள்ள குழாயினுள் காடி கலந்த நீரைவிடவும். மற்ற குழாய்களின் நுனிகளில் உள்ள தூம்புகளைத் திறந்தால், அவ்விரண்டு குழாய்களிலும் தண்ணீர் ஏறி நிற்கும். தண்ணீர் தூம்புகள் வரையில் நிறைந்து வெளியே வழியும்போது தூம்புகளை மூடிவிடவும். இதன் வழியாக மின்னருவியைச் செலுத்தினால், இரண்டு துருவங்களின் அருகிலும்

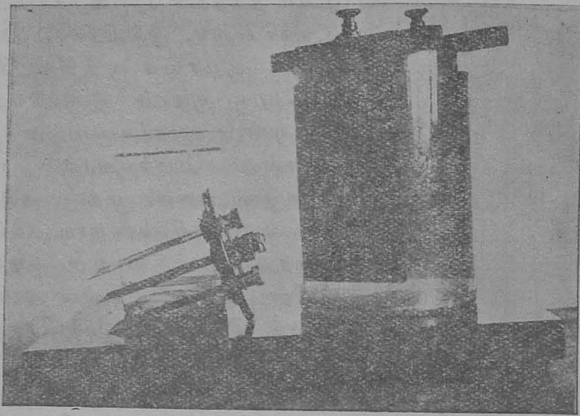


படம் 484

வாயுக் குமிழிகள் தோன்றி மேலெழும்பிக் குழாய்களை நிறைக்கும். அவற்றிலுள்ள நீரெல்லாம் மறுபடியும் நடுக்குழாயினுள் தள்ளப்படும். குழாய்களின்மீதே பருமையைக் குறிக்கும் வகைப்பாடுகள் இருக்கும். அவற்றி

னுதவியால் வெளியிடப்பட்ட வாயுக்களின் பருமைகளை அளக்கலாம். இவ்வாறு அளக்கும்போது வாயுவிலுள்ள ஈர இறுக்கத்தையும் மூன்று குழாய்களிலும் தண்ணீர் நிற்கும் மட்டவேற்றுமையையும் கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும்.

செப்பு ஒல்டாமானி:—ஒரு கண்ணாடிச் சாடியில் செப்புக் கந்தகைக் கரைநீர் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. மூன்று இணையான தகடுகளாகிய துருவங்கள் இதில் முழுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. (படம் 485). இரண்டு

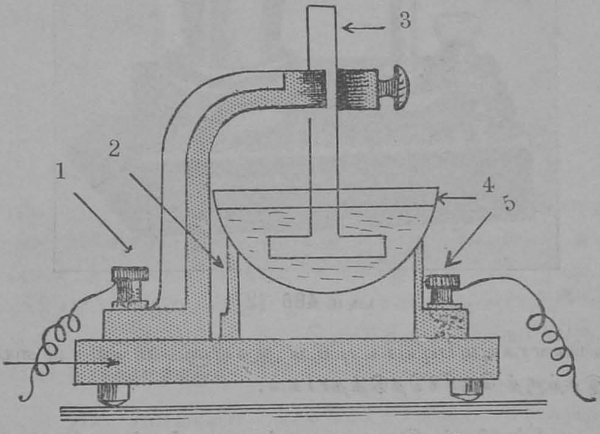


படம் 485

புறங்களிலுமுள்ள செப்புத் தகடுகள் ஒன்றுசேர்ந்து மிகைத்துருவமாகின்றன. இடையிலுள்ள தகடு குறைத் துருவமாகும். இவை மூன்றும் சாடியின்மீது மூடப் பட்டுள்ள ஒரு எபொனைட் பலகையினின்று தொங்கு கின்றன. மிகைத்துருவத் தகடுகள் இரண்டும் சேர்ந்து ஒரு பிடிப்புத் திருகிலும் குறைத்துருவம் தனியாக ஒரு பிடிப்புத் திருகிலும் முடிவடைகின்றன. இத்தகட்டை

அடிக்கடி எடுத்து நிறுக்கவேண்டியிருப்பதால், இதை எளிதில் எடுக்கவும் சௌகரியமாய் அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. செம்பானது குறைத்தகட்டின்மீது சீராகவும் கெட்டியாகவும் படியவேண்டுமானல், அத்தகட்டின் ஒவ்வொரு 50 அல்லது 60 ச. செ. மீ. பரப்புக்கும் ஒரு ஆம்பியருக்கும் மேற்படாதபடி அருவியைச் செலுத்த வேண்டும்.

வெள்ளி ஒல்டாமானி :—'Silver nitrate' கரைநீர் நிரம்பிய ஒரு வெள்ளிக்கிண்ணத்தினுள் ஒரு வெள்ளித் தட்டு வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 486(1) (2)). கிண்ணமே குறைத்துருவமாகும். அத்தட்டே மிகைத்துருவமாகவும் தொழில் புரிகின்றது. மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமைகளைக் காண்பதற்கு வெள்ளியையே கட்

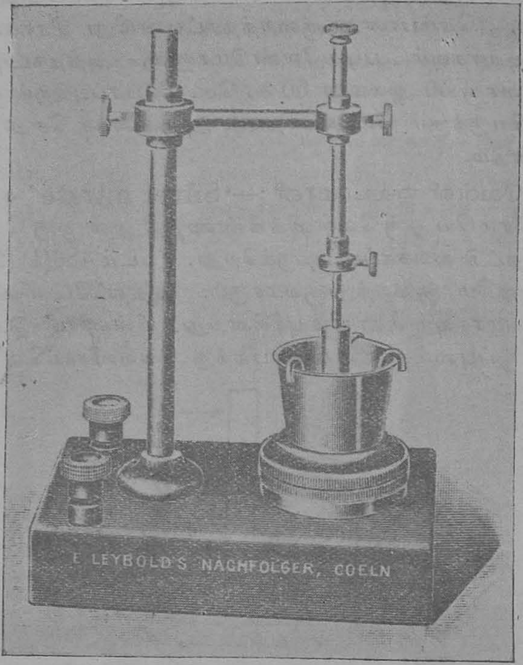


1 திருகு. 2 குறைத்துருவம். 3 மிகைத்துருவம்.
4 வெள்ளிக்கிண்ணம். 5 திருகு.

படம் 486 (1)

டளைத் தாதுவாகக் கொண்டிருப்பதாகக் கூறினோம். வெள்ளியின் இரசாயன-ஒப்புமை அதிகமாய் இருப்ப

தாலும், மற்றும் அது மிகவும் சீராகவும் மெல்லிய பட



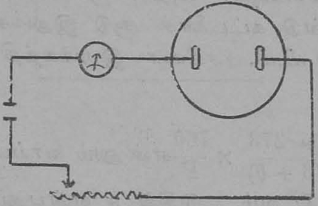
படம் 486 (2)

லங்களாகவும் படியக்கூடியது ஆதலினாலும் வெள்ளியை இதற்குத் தெரிந்தெடுத்தார்கள்.

மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமைகளைக் காண

1. நீரகத்தின் மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமை :— நீரகத்தின் மி. இ. ஒப்புமையைக் காணவேண்டுமானால், தண்ணீரில் மின்னருவியைச் சிறிது நேரம் செலுத்தி, வெளிவந்த வாயுவின் பருமையை அதற்குரிய நிபந்தனைக

ளோடு கண்டுபிடித்து, அதன் நிறையைக் கணக்கிட வேண்டும். மின்னருவியை அளக்க ஒரு பரிசமின் னோட்டமானியையாவது அல்லது ஒரு ஆம்பியர்மானி யையாவது கையாளலாம். ஆம்பியர்மானியைக் கையாண்டால், அதில் + என்று குறித்திருக்கும் துரு வத்தை மின்கல அடுக்கின் மிகைத்துருவத்தோடு இணைக்கவேண்டுமென்பதை மறந்துவிடக்கூடாது. நேரருவி (Direct current) கிடைக்குமானால் ஆய்வுச் சாலையின் பிரதம அருவியிலிருந்தே (Laboratory



படம் 487

mains) நமக்கு வேண்டிய அருவியைக் கொள்ளலாம். ஒரு தகைப்பை இடையிலிட்டு நமக்கு வேண்டிய அள வுக்கு அருவியை மட்டுப்படுத்திக்கொள்ளலாம். (படம் 487)இல் கண்டவாறு ஓல்டாமானி, ஆம்பியர்மானி, தகைப்பு, ஆகியவற்றைத் தொடுத்துப் பிரதம அருவி யோடு பிணைக்கவும்.

ஓல்டாமானியில் காடிகலந்த நீரை நிரப்பவும். அருவியைத் தக்கபடி சரிப்படுத்திவைக்கவும். குழாய் களின் நுனியில் உள்ள தூம்புகளைத் திறந்து தண்ணீர் அவற்றில் ஏறி வெளியே வழிய ஆரம்பித்தவுடன் மூடி விடவும். அருவியையும் இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடி யாரத்தையும் ஒரே நொடியில் துவக்கவும். அரை

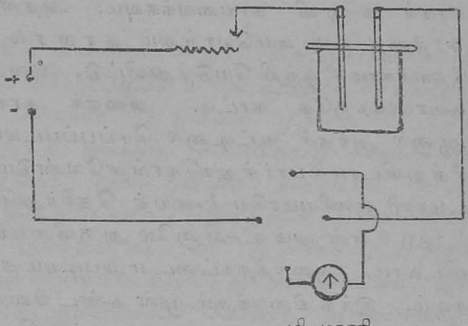
நிமிஷத்திற் கொருமுறை அருவியை ஆம்பியர்மானியில் கண்டு அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும். வேண்டிய அளவுக்கு வாயு சேர்ந்தவுடன் நேரத்தைக் குறித்துக் கொண்டு அருவியையும் கடியாரத்தையும் நிறுத்தி விடவும். நீரகத்தின் பருமையைக் குழாயின்மீதுள்ள வகைப்பாடுகளைக் கொண்டு அளவிடவும். நடுக்குழாயிலும் இக்குழாயிலும் உள்ள நீர்மட்ட வேறுபாட்டையும் நீரின் சூட்டையும் அளந்து குறித்துக்கொள்ளவும். மட்டவேற்றுமை சூட்டிற்குத் தக்க ஈரவிறுக்கம், பவனஇறுக்ககம் இவற்றைக்கொண்டு நீரகத்தின் இறுக்கத்தைக் கணக்கிடவும். அதன் சூட்டையும் இறுக்கத்தையும் கொண்டு, கட்டளைச் சூடு இறுக்கமாகிய $0^\circ c$ சூட்டிலே 760 மி.மீ. ரசநிரை இறுக்கத்திலே, அதன் பருமையை

$$V_\circ = \frac{V \times 273}{(273 + \theta)} \times \frac{760}{P}$$ என்னும் வாய்பாட்டின் உதவியால் கணக்கிடவும். இதில் θ என்பது நீரகத்தின் சூடு, P என்பது அதன் இறுக்கம், V என்பது அதன் தற்போதைய பருமை, $V_\circ$ என்பது கட்டளை இறுக்கத்திலும் சூட்டிலும் இருக்கவேண்டிய அதன் பருமை.

$0^\circ c$ சூட்டிலே 760 மி. மீ. ரசநிரை இறுக்கத்தில் ஒரு லிட்டர் நீரகத்தின் பருமை ·08987 கிராம் ஆகும். இதனுதவியால் நாம் சேகரித்த வாயுவின் நிறை $V_\circ \times$ ·00009 கிராம் ஆகும். நிற்க $m = ect$ ஆகும். m-ஐக் கணக்கிட்டுக் கண்டுவிட்டோம். c-யை நாம் அறிவோம். t-யையும் அறிவோம். எனவே வாயுவின் மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமையாகிய e-யை நாம் கணக்கிட்டுக் காணலாம்.

செம்பின் மி. இ. ஒப்புமை :—பிரதம அருவியின் மிகைத்துருவத்தை செப்பு ஒல்டாமானியின் மிகைத்

துருவத்தோடு பிணைத்து மற்ற பிணைப்புகளை (படம் 488)இல் கண்டவாறு போடவும். இங்கே அருவியை அளக்க ஒருபரிசமின்னோட்டமானி கையாளப்படுகிறது. அதன் தளத்தைக் காந்த-துருவகத்தில் நிற்கும்படி சரிப்படுத்தி வைக்கவும். சூசிகை சூனியவரையிலே நிற்கும்படி செய்யவும். தகைப்பினால் ஏற்படும் காந்தப்



படம் 488

புலம் சென்று தாக்காதபடி மின்னோட்டமானியை தூரத்தில் வைக்கவும். குறைத்தகட்டை எடுத்து அதைப் பட்டைசீலையால் தேய்த்துத் துப்புரவு செய்ய வும். அதை மறுபடியும் அதனிடத்தில் வைத்து, அருவியைச் செலுத்தித் தகைப்பைச் சரிப்படுத்தி, மின்னோட்டமானியின் விலக்கம் ஏறக்குறைய 45° இருக் கும்படி செய்யவும். குறைத்தகட்டை எடுத்துக் கழுவி துடைத்து, சுத்தப்படுத்தி, அதன் நிறையை ஒரு மி. கிராமுக்குச் சரியாக தராசினுதவியால் காணவும். மறு படியும் அதை ஓல்டாமானியில் பூட்டி அருவியையும ஒரு இச்சைப்படி நிறுத்துங் கடியாரத்தையும் ஒரே சமயத்தில் துவக்கவும். ஏறக்குறைய அரைமணி நேரத் திற்கு இவ்வருவியைப் பாயும்படி விடவும். பத்து நிமி

ஷங்களுக் கொருமுறை மின்னேட்டமானியின் வாசகங் களைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். மாற்றகத்தினுத வியால் அருவியை மின்னேட்டமானியில் மாறியோடச் செய்து பொதுமை விலக்கத்தைக் காணவும். பிறகு நேரத்தைக் குறித்துக்கொண்டு அருவியை நிறுத்திவிட வும். குறைத்தகட்டைக் கழற்றி எடுத்து ஜாக்கிரதை யாகக் கழுவி காயவைக்கவும். அதன் மேலுள்ள ஈரத்தை ஒரு மையொற்றும் தாளால் மெதுவாகத் தேய்க்காமல் ஒற்றி யெடுத்துவிட்டு, அதை அனலியின் சுவாலைக்கருகே காட்டி அதைக் காயவைக்கலாம். ஆனால் அந்தச் சூட்டினால் செப்புப்படலம் பிராணீக ரித்துவிடாமல் பார்த்துக்கொள்ளவேண்டும். மின்னேட் டமானி குணியமாகிய k-யைத் தெரிந்துகொண்டு $c = k \tan \theta$ என்னும் உறவினாலே அருவியைக் கணக்கிட்டு விடலாம். குறைத்தகட்டை மறுபடியும் தராசில் நிறுக் கவும். இந்த நிறைக்கும் முன் கண்ட நிறைக்கும் உள்ள வேற்றுமையாகிய m என்பது படிந்த செம்பின் நிறை யாகும். அருவியைச் செலுத்திய நேரம் t செகண்டுகள் என்று கொள்வோம். இப்போது $m = ect$ என்னும் உற வில் e ஒழிந்த ஏனைய இராசிகளை நாம் அறிவோமாத லின் செம்பின் மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமையாகிய e-யை நாம் எளிதில் கணக்கிட்டுவிடலாம். செம்பின் மி. இ. ஒப்புமை நமக்குத் தெரியுமானால் இதே பரிசோதனை யைக் கொண்டு நாம் மின்னேட்டமானி குணியமாகிய k-யைக் கணக்கிடலாம். $m = ect$. $c = k \tan \theta$. எனவே $m = e\,k \tan \theta\, t$. இதில் k தவிர மற்ற இராசி களைநாமறிவோம். எனவே k-யைக் கணக்கிடுதல் எளிது.

$$\text{நிற்க } k = \frac{10\, r\, \mathrm{H}}{2\, \pi\, n}$$

இதில் ஆரமாகிய r, கம்பிச்சுருளின் எண்ணிக்கை யாகிய n இவற்றை நாம் அறிந்திருந்தால், பூமியினது

காந்த-புலத்தின் படுக்கைப் பிரிகிலியாகிய H-ஐக் காணு தல் எளிதாகும்.

பாரடேயின் விதிகளைச் சோதிக்கும் முறை வருவாறு :—

1. நேரம் மாருதிருக்க, வெளியிடப்பட்ட வாயு வின் அளவு அருவியின் பலத்துக்கு ஏற்பவுள்ளது என்று காட்ட :—

நீரகத்தின் மின்னியல்—இரசாயன ஒப்புமையைக் காண்பதற்குச் செய்தபடியே பிணைப்புகளைச் செய்யவும். c_1 ஆம்பியர் கொண்ட அருவியை முதலில் செலுத்த வும். இதற்குத் தக்கபடி தகைப்பைச் சரிப்படுத்தி வைக்கவேண்டும். இவ்வருவியை அரைமணி நேரம் செலுத்தி வெளியிடப்பட்ட வாயுவின் பருமையைக் காணவும். அதைக் கட்டளை இறுக்கச்சூட்டிற்குத் திருத்த வரும் பருமையாகிய V_1-ஐக் கணக்கிடவும். இவ் வாறே c_2, c_3 ஆம்பியர்கள் கொண்ட அருவிகளையும் இதே நேரம் வரை செலுத்தி, அவ்வப்போது வெளி யான வாயுவின் பருமைகளைக் கட்டளை இறுக்கச் சூட் டிற்குத் திருத்திய அளவுகளாகிய V_2, V_3 என்பவற்றைக் கணக்கிடவும். இதிலிருந்து $\frac{V_1}{c_1} = \frac{V_2}{c_2} = \frac{V_3}{c_3}$ என்று காட்டலாம். எனவே, வெளியிடப்படும் வாயுவின் அளவு அருவியின் பலத்துக்கு ஏற்றது என்பது தெளிவா கிறது.

2. அருவியின் பலம் மாருதிருக்க, வெளியிடப் பட்ட பதார்த்தத்தின் அளவு நேரத்திற்கு ஏற்பவுள் ளது என்று காட்ட.

தக்க ஒரு அருவியை ஓல்டாமானியின் வழியாக 20 நிமிஷங்களுக்குச் செலுத்தவும். வெளியிடப்பட்ட நீரகத்தின் பருமையை க. இ. சூட்டிற்குத் திருத்திய அளவாகிய V_1-ஐக் குறித்துக்கொள்ளவும். இது

போலவே இதே அருவியை முறையே 40 நிமிஷங்களுக்கும் 60 நிமிஷங்களுக்கும் செலுத்தி, அவ்வப்போது வெளிவரும் வாயுவின் பருமைகளை க. இ. சூட்டிற்குத் திருத்தி, V_2, V_3-க்களைக் குறித்துக்கொள்ளவும். இவற்றிலிருந்து $\frac{V_1}{20} = \frac{V_2}{40} = \frac{V_3}{60}$ என்னும் உறவைக் காணலாம். எனவே வெளியிடப்பட்ட வாயுவின் அளவு நேரத்திற்கு ஏற்றது என்பது தெளிவாகிறது.

3. மின்னூட்டத்தில் வெயியிடப்படும் தாதுக்களின் நிறை, அவற்றின் இரசாயன-ஒப்புமைக்கு ஏற்பவுள்ளவை எனக்கூறும் இரண்டாவது விதியைச் சரிபார்க்க :—

ஒரு தண்ணீர் ஒல்டாமானி, ஒரு செப்பு ஒல்டாமானி, ஒரு வெள்ளி ஒல்டாமானி ஆகிய மூன்றையும், ஒரு ஆம்பியர்மானியோடும், ஒரு தகைப்போடும், ஆய்வுச்சாலையின் பிரதம அருவியில் தொடுக்கவும். தக்க ஒரு அருவியைச் சிறிது நேரம் செலுத்தி, வெளியிடப்பட்ட நீரகம், பிராணவாயு, செம்பு, வெள்ளி இவற்றின் நிறைகளைக் காணவும். அவை முறையே m_1, m , m_3, m_4 என்றும், அவற்றின் இரசாயன ஒப்புமைகள் முறையே e_1, e_2, e_3, e_4 என்றும் கொள்வோம். இவற்றைக் கொண்டு $\frac{m_1}{e_1} = \frac{m_2}{e_2} = \frac{m_3}{e_3} = \frac{m_4}{e_4}$ என்று அறியலாம். எனவே, வெளியிடப்பட்ட தாதுக்களின் நிறை, அவற்றின் இராசயன ஒப்புமைகளுக்கு ஏற்பவுள்ளது என்பது நிரூபணமாகிறது.

மின்னூட்டப் பரவல் (Electrolytic conduction) :—தற்காலத்தில் மின்னூட்டப் பரவல் கொள்கையானது பிரிதல் கொள்கையை அடிப்படையாகக்கொண்டது. இதில் பிரிவுபட்ட பொருள் முற்றிலுமோ, அல்

லது அதன் பகுதியோ இயனிகளாகப் பிரிவுபட்டிருப்பதாகக் கொள்ளப்படும். செப்புக்கந்தகை கரையும்போது அது செப்பு இயனிகளாகவும், கந்தகை இயனிகளாகவும் பிரிகிறது. கரைநீர் எவ்வளவுக் கெவ்வளவு அதிகமாக வளாவப்பட்டு இருக்கிறதோ அவ்வளவுக் கவ்வளவு பிரிவுபாடு அல்லது இயனிகரணம் (Ionisation) சம்பூரணமாக இருக்கிறது. இதனல் விஞ்சி வளாவப்பட்ட ஒரு மின்னூட்டிக் கரைநீரில் எல்லா மூலகங்களும் தன்வயப்பட்ட இயனிகளாகிவிடுகின்றன. எல்லா உலோக இயனிகளும், நீரக அணுக்களும் குறைத்துருவத்தை நாடிச் செல்லுகின்றன. மற்ற அலோக இயனிகள் மிகைத்துருவத்தை நாடிச் செல்லுகின்றன. இதனல் உலோகங்களும் நீரகமும் மிகை மின்சுமையைக் கொண்டிருப்பதாயும், மற்ற அலோகக் காடி சேர்க்கைகள் குறைமின்சுமையைக் கொண்டிருப்பதாயும் நெடுநாட்களுக்கு முன்னே காணப்பட்டது. செப்புக்கந்தகை கரைநீரில் இவ்வாறு பிரிவுபட்ட இயனிகள், தங்களுக்குரிய மின்சாரச்சுமையை மேற்கொண்டிருப்பதால், அவற்றின் பௌதிக, இரசாயன இயல்புகள் சாமானிய செப்புக்கந்தகை அணுக்களின் இயல்புகளினின்று மாறுபடுகின்றன. நாம் ஒரு மின்மண்டலத்தை ஏற்படுத்தும்போது, மின்புலமானது செப்பு இயனிகளைக் குறைத்துருவத்தை நாடிச் செல்லும்படியும், கந்தகை இயனிகளை மிகைத்துருவத்தை நாடிச் செல்லும்படியும் செய்கிறது. மிகைத்துருவத்தை நாடுவன மிகைஇயனிகள் என்றும், குறைத்துருவத்தை நாடுவன குறைஇயனிகள் எனவும் பெயர் பெறும். மின்சுமைகளைத் துருவங்களில் ஏற்றிவிட்டு இயனிகள் கரைநீரினின்று வெளிப்படுகின்றன. மின்னூட்டக் கரைநீர் அலித்தன்மையோடிருப்பதால் இந்த மின்னூட்டப் பிரிவால் ஏற்படும் மிகைமின்சுமையும் குறைமின்சுமை

யும் சமம் என்று தெரிகிறது. மிகை-இயனிகள் ஒருமுகமாகவும், குறைஇயனிகள் அதற்கு எதிர்முக மாகவும் செல்லும். இந்த ஓட்டமே ஒரு மின்னருவி யாகிறது. நாம் ஏற்படுத்திய மின்-புலமே, இவ்வாறு மூலகங்கள் பிரிவுபட்டு இயனிகளாவதற்குக் காரணம் என முன்னல் கருதப்பட்டு வந்தது. அவ்வாறுயின் மின்னியக்க சக்தி மிகப் பெரிதாய் இருக்கவேண்டும். இல்லையெனில் இரசாயனச் சேர்க்கையில் இருக்கும் அணுக்களைப் பிரித்து இயனிகள் ஆக்கமுடியாது. ஆகையால் மேற்கண்ட கொள்கை தவறுனது என்று கைவிடப்பட்டது.

உதாரணம் 1. நீரகத்தின் மின்னியல் இரசாயன ஒப்புமை 0·0000104 கி/கூலம். கட்டளைச் சூட்டிறுக்கத் திலே அதன் செறிவு 0·09 கி/லிட்டர். ஒரு தண்ணீர்-ஓல்டாமானியினின்றும் 750 மி. மீ. இறுக்கமும் $15^\circ C$ சூடும் கொண்ட 20 க. செ. மீ. வாயுவை, 1·5 ஆம்பியர் கொண்ட அருவி வெளியிடுவதற்கு எவ்வளவு நேர மாகும்.

கட்டளைச் சூட்டிறுக்கத்திலே மேலே கண்ட 20 க. செ. மீ. வாயுவின் பருமை

$$\frac{20 \times 273 \times 750}{288 \times 760} = 18{\cdot}71 \text{ க. செ. மீ. ஆகும்.}$$

$$\text{இதன் நிறை} = \frac{18{\cdot}71 \times 0{\cdot}09}{1000} = {\cdot}001684 \text{ கிராம்.}$$

நீரகத்தின் மின்னியல் இரசாயன-ஒப்புமை

= ·0000104 கி/கூலம். ஆகையால் மேற்கண்ட ·001684 கி. வாயுவை வெளியிடுவதற்கு வேண்டிய மின்

$$\text{சுமை} = \frac{{\cdot}001684}{{\cdot}0000104} = 161{\cdot}9 \text{ ‘கூலம்.’}$$

மின்னருவி செகண்டிற்கு 1·5 'கூலம்' மின் சுமையை வெளியிடுகிறது.

ஆகையால் 161·9 'கூலம்' மின்சுமையை வெளியிட

$\frac{161 \cdot 9}{1 \cdot 5} = 108$ செகண்டுகள்.

அல்லது 1 நிமிஷம் 48 செக. ஆகும்.

எனவே, தண்ணீர் ஒல்டாமானியினின்று, 750 மி. மீ. இறுக்கமும் $15^{\circ}c$ சூடும் கொண்டு 20 க. செ. மீ. நீரகத்தை, 1·5 ஆம்பியர் கொண்ட அருவி வெளியிடுவதற்கு 1 நி. 48 செக. ஆகும்.

உதாரணம் 2. 500 சுற்றுகளும் 8 செ. மீ. ஆரமும் கொண்டதொரு பரிசமின்னோட்டமானி ஒரு ஒல்டாமானியோடும் ஒரு மின்கல அடுக்கோடும் ஒரு மண்டலமாகத் தொடுக்கப்பட்டது. மின்னோட்டமானி விலக்கம் 45° இருக்க, 30 நிமிஷங்களிலே 0·185 கிராம் வெள்ளி படிந்ததானல், பூமியினது காந்தப்புலத்தின் படுக்கைப் பிரிநிலையைக் கணக்கிடுக.

30 நிமிஷங்களிலே 0·185 கிராம் வெள்ளி படிந்தது. எனவே ஒரு செகண்டிலே

$\frac{0 \cdot 185}{30 \times 60}$ கி. வெள்ளி படியும்.

வெள்ளியின் மின்னியல் இரசாயன ஒப்புமை 1·118 கி./கி. 'கூலம்'.

ஆகையால் மேலே கண்ட அளவு வெள்ளி ஒரு செகண்டிலே படிவதற்கு $\frac{\cdot 185}{30 \times 60 \times 1 \cdot 118}$ கி. 'கூலம்' மின்சுமை.

ஒரு செகண்டிலே வெளிப்படவேண்டுமாகையால்

$$\text{மின்னருவி} = \frac{0{\cdot}185 \times 1000}{30 \times 60 \times 1{\cdot}118}$$

$= {\cdot}93$ 'ஆம்பியர்' ஆகும்.

ஒரு மின்னோட்டமானியில் அருவி

$$c = \frac{10\, r\, H}{2\, \pi\, n} \tan \theta.$$

அல்லது $H = \dfrac{2\, \pi\, n\, c}{10\, r \tan \theta.}$

கணக்கிலே கண்ட ராசிகளை ஈடிடவே

$$H = \frac{2\, \pi \times 500 \times {\cdot}93}{10 \times 8 \times 1} = {\cdot}3653.$$

எனவே, பரிசோதனை நடந்த விடத்திலே பூமியின் காந்தப்புலத்தின் படுக்கைப் பிரிநிலையாகிய $H = {\cdot}3653$ செ. கி. செ. அலகுகள்.

உதாரணம் 3. 20 செ. மீ. விட்டம் கொண்டதொரு பரிசமின்னோட்டமானி ஒரு சேமக்கடத்தோடும் ஒரு ஒல்டாமனியோடும் தொடுக்கப்பட்டது. மின்னோட்டமானியின் விலக்கம் 45°. 5 நிமிஷத்திலே எவ்வளவு வெள்ளி படியுமென்று கணக்கிடுக.

(மைசூர் : 1933)

மின்னோட்டமானியிலோடும் அருவி

$$c = \frac{10\, r\, H}{2\, \pi\, n} \tan \theta.$$

$$c = \frac{10 \times 10 \times {\cdot}38}{2\, \pi} \times 1. = 6{\cdot}05 \text{ 'ஆம்பியர்'}$$

இவ்வருவி 5 நிமிஷம் ஓடுவதால் ஏற்படும் மின் சாரச்சுமை $= 6{\cdot}05 \times 5 \times 60 = 1815$ 'கூலம்.'

ஒரு 'கூலம்' மின்சுமை ·0011183 கிராம் வெள்ளியைப் படியச் செய்யும்.

ஆகையால் 1815 'கூலம்' கொண்ட மின்சுமை 1815 × ·0011183 = 2·033 கிராம் வெள்ளியைப் படியச் செய்யும்.

வினுக்கள்

1. பரிசமின்னேட்டமானியை வருணித்துக் கூறுக. அதில் ஏன் மூன்று சுருள்கள் இருக்கின்றன.

இதைக் கொண்டு செம்பினது மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமையை எவ்வாறு காணலாம்.

(அண்ணுமலை : 1932)

2. பாரடேயின் மின்னூட்ட விதிகளை எடுத்துக் கூறுக.

ஒரு பரிசமின்னேட்டமானியும் செம்பு ஓல்டாமானியும் கொண்டதொரு மின்மண்டலத்திலே ஒரு அருவி அரைமணி நேரம் ஓடுகிறது. மின்னேட்டமானியின் பொதுமை விலக்கம் 45° 52′. படிந்த செம்பின் நிறை 0·283 கிராம். செம்பின் மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமையைக் கணக்கிடுக. (சுருள்களின் எண் 10; H = 0·38 செ. கி. செ. அலகுகள். சுருள்களின் ஆரம் 7·9 செ. மீ.)

(சென்னை : மார்ச். 1927)

3. பாரடேயின் மின்னூட்ட விதிகளை எடுத்துக் கூறி அவற்றைச் சரிபார்ப்பதற்கான தொரு பரிசோதனையை விளக்கிக் கூறுக.

சிறிது காடி கலந்த தண்ணீரிலே 45 நிமிஷ நேரம் வரை ஒரு அருவியைச் செலுத்தி அதிலிருந்து வெளிப்படும் நீரகம் பாதரசத்தின்மீது சேகரித்து வைக்கப்பட்டது. கட்டளைச் சூட்டிறுக்கத்திலே இந்த வாயுவின் பருமை 315 க. செ. மீ. இருந்தது. அருவியின் வலிமையைக் கணக்கிடுக.

(சென்னை : செப். 1929)

4. ஒரு நீர் ஓல்டாமானியை வருணித்து அதைக் கொண்டு ஒரு அருவியை எவ்வாறு அளவிடலாமென்று விவரித்துக் கூறுக.

ஒரு நீர் ஒல்டாமானியின் மூலமாக ஒரு சீரான அருவி செலுத்தப்படுகிறது. அப்போது பவன-இறுக்கம் 76 செ. மீ. ரசநிரையாக இருக்கிறது. சூடு 15°c. கட்டளைச் சூட்டிறுக்கத்திலே நீரகத்தின் செறிவு 9×10^{-5}. அதன் மின்னியல் இரசாயன ஒப்புமை $1{\cdot}045 \times 10^{-5}$. 10 நிமிஷங்களிலே சேகரிக்கப்பட்ட நீரகத்தின் பருமை 20 க. செ. மீ. அருவியின் வலிமையைக் காண்க.

(ஆந்திரா : செப். 1933)

5. 'கூலம்', 'மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமை' என்பவற்றுக்கு வரைவிலக்கணம் கூறுக.

செம்பின் மின்னியல்-இரசாயன ஒப்புமையை எவ்வாறு காணலாமென்று பரிசோதனை விவரங்களை எடுத்துக் கூறுக.

(மைசூர் : 1933)

6. ஒரு அருவியினால் ஏற்படும் இரசாயன விளைவுகளை விவரித்துரைக்கவும். அவற்றை எவ்வாறு உபயோகிக்கலாமென்று எடுத்துரைக்கவும். இதைக் கொண்டு மின்னருவியை எவ்வாறு அளவிடலாமென்றும் விவரித்துக்கூறுக.

(ஆக்ஸ் : 1935)

7. மின்னூட்ட விதிகளை எடுத்துக் கூறுக.

காடி கலந்த தண்ணீரிலே இரண்டு பிளாடினம் தகடுகள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. இவையிரண்டும் ஒரு மின்னோட்டமானி மூலமாக ஒரு 'டேனியல்' கடத்தின் துருவங்களோடு இணைக்கப்பட்டன. மின்னோட்டமானி வாசகத்திலேற்படும் மாறுபாடுகளை விவரித்து, அவை நிகழ்வதற்குரிய காரணங்களை விளக்குக.

(ஆக்ஸ் : 1926)

8. பாரடேயின் மின்னூட்ட விதிகளை எடுத்துக் கூறுக.

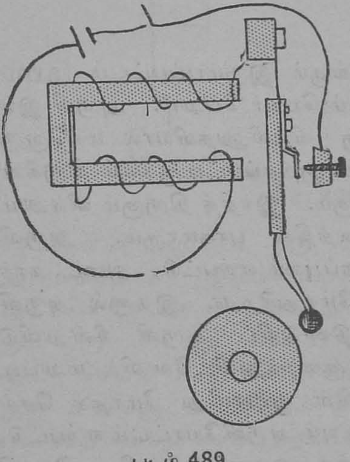
வீட்டிலே செலவழியும் மின்சார சக்தியை அளவிடுவதற்கான ஒரு மின்னூட்ட அமைப்பைப் புனைந்து கூறுக.

(அண்ணமலை : 1932)

அத்தியாயம் 8

மின்சார சக்தியின் சில உபயோகங்கள்
(Technical applications of electricity)

மின்காந்த சாதனங்கள் :—முன்னொரு அத்தியாயத்தில் மின்னருவியின் காந்த விளைவுகளைப்பற்றிக் கூறினோம். மின்னருவியால் ஏற்படும் காந்தப்புலங்களையே நாம் மின்காந்தக் கருவிகளை இயற்றுவதில் பயன்படுத்துகிறோம். உறையிட்ட கம்பிச் சுருளை ஒரு இருப்புக் கம்பியின் மீது சுற்றி அதில் ஒரு மின்னருவியைச் செலுத்தினால் அது ஒரு காந்தச்சட்டமாகிறது. மேலும் அருவியை ஓட்டுவதாலும் நிறுத்துவதாலும் சட்டத்தில் நம்மிஷ்டப்படி காந்தநிலையை ஏற்படுத்தவும் அழிக்கவும் செய்யலாம். இச்சாதனங்கள் அன்றாட வாழ்க்கையில் பெரிதும் பயன்படுகின்றன. இவற்றிலே மிக எளிய அமைப்பு வாய்ந்து பெரிதும் பயன்படுவதுமின்சார மணியாகும்.



படம் 489

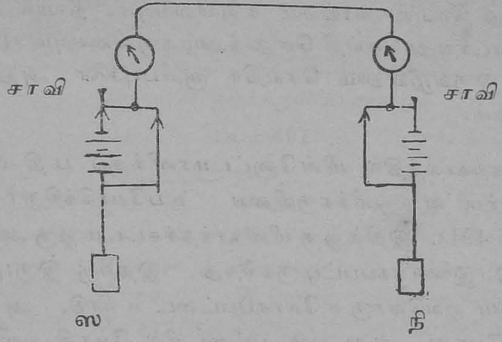
மின்சாரமணி (Electric bell):— (படம் 489). இதிலுள்ள மின்காந்தச் சட்டம் குதிரைக் குளம்பின் வடிவம் வாய்ந்தது. இதில் இரண்டு இணையான இருப்புச் சட்டங்கள் ஒரு முனையில் மற்றொரு சட்டத்தால் சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன. உறையிட்ட கம்பிச்சுருள்கள் இவ்விரண்டு சட்டங்களின்மீதும் எதிர்

முகமாகச் சுற்றப்பட்டிருக்கின்றன. மற்றும் இச்சுருள்கள் தொடர்ந்து இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இதனால் ஒரு சட்டத்தின் வெளிமுனை வடதுருவமாயும் மற்றொன்றின் வெளிமுனை தென்துருவமாயும் ஆகின்றன. இவ்விரண்டு துருவங்களுக்கெதிரே ஒரு இரும்புப்பட்டை இருக்கிறது. இது ஒரு சிறிய சம்மட்டியோடு (hammer) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. அருவி தொடங்கியவுடனே இரும்புப்பட்டை காந்ததுருவங்களால் இழுக்கப்படவே, அதனோடு இணைக்கப்பட்ட சம்மட்டி மணியின் கிண்ணத்தின்மீது மோதி ஒலியை உண்டாக்குகிறது. அருவி தொடர்ந்து ஓடிக்கொண்டிருந்தால் இரும்புப்பட்டை காந்தத் துருவங்களோடு ஒட்டிக்கொண்டுவிடும். மணி ஒரே தரம் அடித்ததோடு நின்றுவிடும். மணி தொடர்ந்து அடித்துக்கொண்டிருக்க வேண்டுமானால் அருவியை ஓட்டவும் நிறுத்தவும் சாதனம் வேண்டும். இச்சாதனத்தை யமைக்கும் முறை வருமாறு.

முற்கூறியபடி இயங்கும் இரும்புப்பட்டம் (armature) 'அடை' எனவும் பெயர் பெறும். அருவி இல்லாதபோது அது ஒரு வில்லினுதவியால் மற்றொரு இருப்புக்கட்டையில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் திருகின் முனைமீது அழுந்தி நிற்கும். இந்தத் திருகும் வில்லும் அருவியோடும் மண்டலத்தின் பாகமாகும். அருவி தொடங்கியவுடன் காந்தப்புலம் ஏற்பட்டு, அடை, காந்தத்துருவங்களின்மீது மோதுகிறது. இதனால் அருவியின் மண்டலம் வெட்டுண்டுவிட அருவி நின்றுவிடுகிறது. காந்த இழுப்பு குறைந்துவிடவே வில் மறுபடியும் அடையைத் திருகின் முனைமீது மோதச் செய்கிறது. இதனால் மறுபடியும் அருவியோட்டம் ஏற்பட்டு, மறுபடியும் அடை, காந்த துருவங்களின்மீது மோதி மணியை அடிக்கிறது. இவ்வாறாக மணி தொடர்ந்து

அடித்துக்கொண்டே இருக்கிறது. இதுவே மின்சார மணி தொழிற்படும் முறையாகும்.

மின்சாரத் தந்தி :—இது மின்சார சக்தியினுதவியால் செய்திக் குறிப்புகளை அனுப்புவதற் கேற்பட்ட ஒரு சாதனமாகும். 'மோர்ஸின்' ஒலிக்கருவி ஏற்படுவதற்கு முன்னிருந்த பண்டை மின்சார-தந்தி முறையை முன்னால் விவரிப்போம். ஸ, நி என்னும் இரண்டிடங்களுக்கிடையே ஒரு கம்பி உகையாத் தூண்களின்மீது இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 490). செய்தி அனுப்புமிடமாகிய ஸ-வில், கம்பியின் முனை, ஒரு

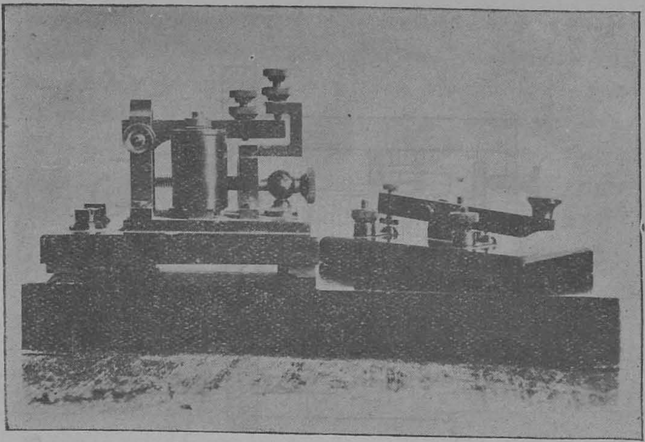


படம் 490

சாவியின் வழியாக ஒரு மின்கல அடுக்கின் ஒரு துருவத்தோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. மின்கல அடுக்கின் மற்றொரு முனை பூமியினடியில் புதைந்திருக்கும் ஒரு செப்புத் தகட்டோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும். செய்தி பெறு நிலையாகிய நி-யில் கம்பியின் முனை ஒரு மின்னோட்டமானியின் வழியாகப் பூமியினடியில் புதைந்திருக்கும் செப்புத்தகட்டோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும். ஸ-விலுள்ள சாவியை அழுத்தவே அருவியானது கம்பி வழியாகச் சென்று நி-யிலுள்ள மின்

ஞேட்டமானியைத் திருப்பிவிட்டு, பூமியின் வழியாகச் செய்தியைச் செலுத்தும் நிலையாகிய ஸ-வுக்கு மீண்டு வரும். இவ்வாருகச் செய்திக் குறிப்புகளை ஸ-வினின்று நி-க்கு அனுப்பலாம். மின்கல அடுக்கின் இரு முனைகளில் நாம் விரும்பிய முனையை இணைக்குமாறு ஸ-வில் ஒரு இரட்டைச் சாவி பூட்டப்படும். இதனுல் அருவியை எதிர்முகமாய்ச் செலுத்தி நி-யிலுள்ள மின்ஞேட்டமானியில் எதிர்ப்புறமாக விலக்கம் ஏற்படுமாறு செய்யலாம். அரிச்சுவடியில் உள்ள ஒவ்வொரு எழுத்தையும் மேற்கூறியவாறு வலமிடமாகத் திருப்புவதைத் தக்கவாறு கூட்டிக்குறிப்பிடலாம். ஸ-வில் ஒரு இரண்டாவது செய்தி வாங்கும் கருவியையும், நி-யில் ஒரு இரண்டாவது செய்தி செலுத்தும் கருவியையும் பூட்டினுல் இருவழியிலும் செய்திக் குறிப்புகளை அனுப்ப இயலும்.

தற்காலத்தில் மின்ஞேட்டமானிக்குப் பதிலாக 'மோர்ஸி'ன் ஒலிக்கருவியை உபயோகிக்கிருர்கள். (படம் 491). இதில் ஒரு மின்காந்தச்சட்டம் ஒரு அடையோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதற்கு இருபுறங்களிலும் ஒவ்வொரு உலோகப்பட்டை உண்டு. அருவி ஓடும்போது அது ஒரு பட்டையில் மோதி ஒலியை உண்டாக்கும். அருவி நின்ருல் அது மற்ருெரு பட்டையில் மோதி ஒலிக்கும். எனவே சாவியைச் சிறிது நேரம் அல்லது நெடுநேரம் அழுத்துவதால் இரு ஒலிகளுக்கும் இடைப்பட்ட நேரத்தை மாற்றலாம். சிறிய இடைநேரத்தைப் புள்ளி (கட) என்றும், நீண்ட இடை நேரத்தை கோடு (கட்டு) என்றும் கூறுவார்கள். இவ்விரண்டு ஒலிகளையும் பலவேறுவிதங்களில் கூட்டி எழுத்துக்களைக் குறிப்பார்கள். இந்த முறைக்கு 'மோர்ஸ்' முறை எனப் பெயர். அது வருமாறு :—



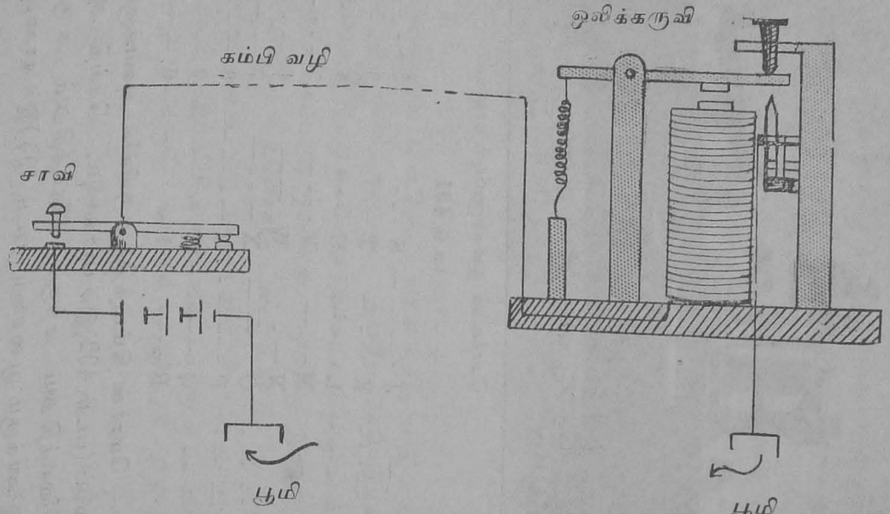
மோர்ஸின் ஒலிக்கருவியும் சாவியும்

படம் 491

A -—	J -———	S ---	2 -- ———
B —---	K —-—	T —	3 --- ——
C —-—-	L -—--	U --—	4 ---- —
D —--	M ——	V ---—	5 -----
E -	N —-	W -——	6 —----
F --—-	O ———	X —--—	7 ——---
G ——-	P -——-	Y —-——	8 ———--
H ----	Q ——-—	Z ——-—--	9 ————-
I --	R -—-	1 -————	0 —————

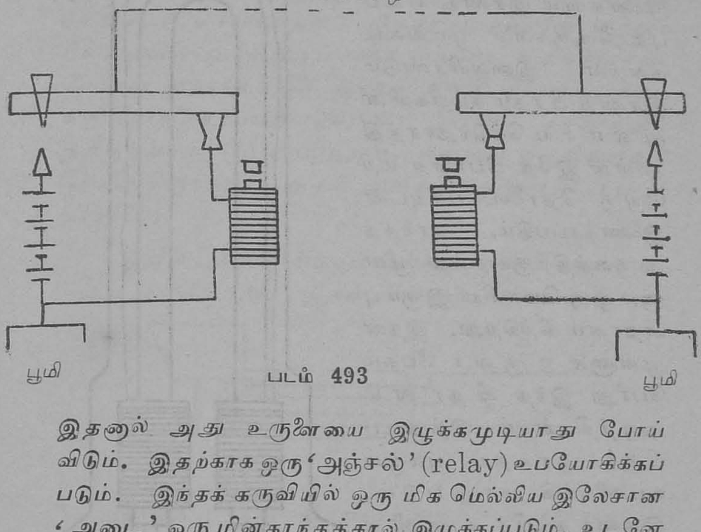
மோர்ஸ் திட்டத்தில் கருவிகளை அமைக்கும் முறையைப் (படம் 492)இல் பார்க்கவும். செய்தி அனுப்பும் நிலையத்திலும் ஏற்கும் நிலையத்திலும் கருவிகளை இணைக்கும் முறையை (படம் 493)இல் காணவும்.

செய்தி ஏற்கும் நிலையத்தில் அதைக் குறித்துக் கொள்ளுவதற்கு மற்றொரு முறையும் உண்டு. இதில் அடையானது மை பூசிய உருளையோடு இணைக்கப்பட்



படம் 492

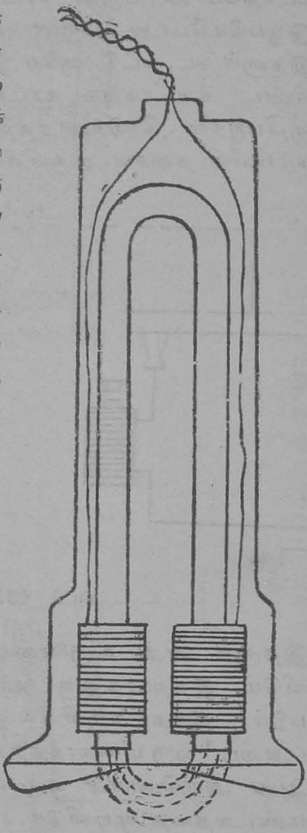
டிருக்கும். இதனடியில் ஒரு காகித நாடா கடியார இயக்கத்தால் ஓடிக்கொண்டிருக்கும். அடை இழு படாதபோது உருளை நாடா மீது படுவதில்லை. அது இழுபடும்போது உருளை நாடாமீது தங்கி உருளும். இதனால் கட, கட்டு ஆகிய இவை குறுகிய சுவடாகவும் நீண்ட சுவடாகவும் நாடாமீது படியும். செய்திக் குறிப்புகளை நெடுந்தூரத்திற்கு அனுப்பினால் தந்திக் கம்பியின் தகைவு அருவியின் வலிமையைக் குறைக்கும்.



படம் 493

இதனால் அது உருளையை இழுக்கமுடியாது போய் விடும். இதற்காக ஒரு 'அஞ்சல்' (relay) உபயோகிக்கப் படும். இந்தக் கருவியில் ஒரு மிக மெல்லிய இலேசான 'அடை' ஒரு மின்காந்தத்தால் இழுக்கப்படும். உடனே அது அருகிலுள்ள ஒரு மின்கல அடுக்கோடு கூடிய மண்டலத்தை மூடிவிடும். இந்த மண்டலம் 'மோர்ஸ்' கருவி ஒன்றோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும். இம்மண்ட லத்தில் தகைவு குறைவாதலால் அதில் ஓடும் அருவிக்கு முற்கூறிய உருளையை இழுப்பதற்கு வேண்டிய பலம் இருக்கும்.

தொலைப்பேசியும் (Telephone) அது தொழிற்படு முறையும் :—இது முதன் முதலில் 'கிரஹாம் பெல்' என்பவரால் இயற்றப்பட்டது. இதிலுள்ள ஒரு காந்தச் சட்டத்தின் ஒரு முனையைச் சூழ்ந்து ஒரு உறையிட்ட கம்பிச் சுருள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 494). இச்சுருளின் இரு முனைகளும் இரண்டு பிடிப்புத் திருகுகளில் முடிவடைகின்றன. இவையிரண்டும் இரண்டு பிரதம கம்பிகளின் மூலமாய் நெடுந்தூரத்திலுள்ள இதே போன்ற மற்றொரு தொலைப்பேசியுடன் இணைக்கப்படும். காந்தத் துருவத்திற்குச் சற்று முன்னால் ஒரு மெல்லிய இரும்பு விதானம் நிற்கிறது. இதன் முன்னால் ஒருவர் பேசும் போது இந்த விதானம் துடித்தியங்கும். இத்துடிப்பினால் காந்தப் புலமும் உடனியங்கி மாறுபடும். இதனால் கம்பிச் சுருளில் ஊட்ட அருவிகள் தோன்றி அது தூரத்திலுள்ள செய்தியேற்கும் நிலையத்தில் இருக்கும் தொலைப்பேசியிலும்



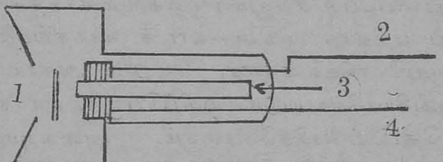
படம் 494

காந்தப்புல மாறுபாடுகளை விளைவிக்கும். இதனால் அங்கிருக்கும் காந்தப்புலமும், அதற்கு எதிரேயுள்ள விதா

னமும் துடித்து ஒலியை அவ்விடத்திலே எழுப்பும். இவ்வாறாக 'பெல்' தொலைப்பேசியையே செலுத்து கருவியாகவும் ஏற்கும் கருவியாகவும் உபயோகிக்கலாம்.

ஆனால் இதில் ஏற்படும் அருவி மிக மெலிந்தது. எனவே நெடுந்தூரம் செல்லுவதற்கு வலிமையற்றது. இதற்காக ஒரு மின்கல அடுக்கை நிரந்தரமாக இதன் மண்டலத்தில் பிணைத்து ஒரு சீரான அருவி ஓடும்படி செய்யப்படும். ஒலித்துடிப்பினால் ஏற்படும் காந்தப் புல மாறுபாடுகள் இந்த சீரான அருவியைச் சிறிது மாறுபடச் செய்கின்றன. இம்மாறுபாடுகளே ஏற்கும் நிலையத்தில் ஒலித்துடிப்புகளை எழுப்ப உதவுகின்றன. மேலும், தற்காலத்தில் இந்தக் கருவி செய்தி ஏற்கும் கருவியாகவே பயன்படுகிறது. செய்தி செலுத்துவதற்கு 'மைக்' (Microphone) என்னும் கருவியை உபயோகிக்கிறார்கள். அதன் அமைப்பு வருமாறு. (படம் 495 (2)).

இதில் புனல்வாய்க்குப் பின்னால் ஒரு விதானம் ஏற்றப்பட்டிருக்கிறது. இதன் பின்னால் உள்ள அறையில்

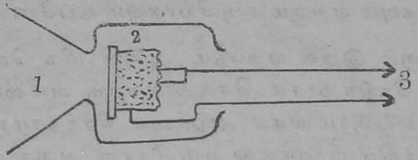


1 விதானம் 2, 4 பிரதம கம்பிகள் 3 காந்தச்சட்டம்

படம் **495** (1) பெல் தொலைப்பேசி

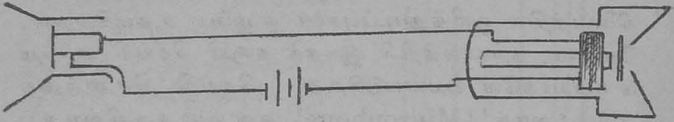
கரித்தூள் நிரம்பி நிற்கும். இதன் மூலமாய் ஒரு மின்மண்டலம் செல்லுகிறது. இக்கரித்தூளின் வழியாக ஏற்படும் பரிசம் கரித்துணுக்குகளின் நெருக்கத்தைப் பொறுத்திருக்கும். இக்கருவியின் முன்னின்று பேசினால் விதானம் துடிக்கும். இத்துடிப்பினால் கரித்

துணுக்குகளின் நெருக்கமும், அதனால் அதன்மூல மாய்ச் செல்லும் அருவியின் வலிமையும் மாறுபடும்.



1 புனல்வாய் 2 கரித்தூள் 3 பிரதம கம்பிகள்

படம் **495** (2) கரித்தூள் தொலைப்பேசி



படம் **495** (3) சாமானிய அமைப்பு தொலைப்பேசி

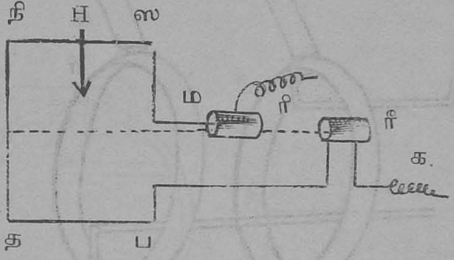
இம்மாறுபாடுகள் மற்ருெரு இடத்திலுள்ள தொலைப் பேசியில் ஒலியை எழுப்பும். ஒரு எளிய தொலைப்பேசி யின் அமைப்பு (படம் 495(3))-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

தொலைப்பேசி ஏற்கும் கருவிகளில் காந்தச் சட்டங் களுக்குப் பதிலாக குதிரை-லாடக் காந்தங்களை இப் போது உபயோகிக்கின்றனர். மேலும் ஆகாய வசனி களில் உபயோகிக்கப்படும் ஒலிப்பெருக்கிகள் எல்லாம் பெரிய தொலைப்பேசிகளேயாகும். அவையும் இதே முறையில்தான் வேலை செய்கின்றன. ஆகாயத் தந்திக் கருவியினின்று வெளிப்படும் அருவி விதானத்தைத் துடிக்கச்செய்து, ஒலியை எழுப்புகிறது.

டைனமோவும் மோட்டாரும்

டைனமோ:—காந்தப்புலத்தில் ஒரு உலைவுக் கம்பி இயங்கினல், அதில் ஊட்ட அருவிகள் தோன்றுவ தாகக் கூறினேம். இத்தத்துவத்தை அடிப்படையாகக்

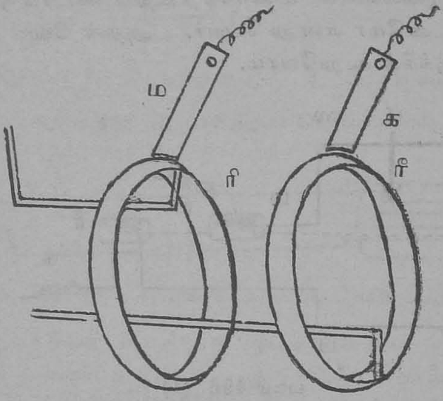
கொண்டே, தற்காலத்தில் வெளிச்சமிடுவதற்கும் சூட்டைக் கொடுப்பதற்கும், மேலும் டிராம் வண்டிகள் மின்சார வண்டிகள் இவைகளை ஓட்டுவதற்கும், பின்னும் பல தொழிற்சாலைகளில் இயந்திரங்களை ஓட்டுவதற்கும் பயன்படும் அளவில் மின்சாரசக்தி உண்டாக்கப்படுகிறது. இவைகளின் மின்சாரத்தை உண்டாக்கும் கருவிக்கு டைனமோ என்று பெயர். அதன் வேலை முறையைச் சுருக்கிக் கூறுவோம்.



படம் 496 (1)

(படம் 496(1)) ஐக் கவனிக்கவும். ஓரிடத்தில் காந்தப்புலம் H என்று குறிப்பிட்ட அம்புக் குறியின் திசையில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். ஸ நி த ப என்னும் கம்பி வளையம் இந்தக் காந்தப்புலத்தில் படத்தில் காட்டியவாறு சுழலுவதாகக் கொள்வோம். இந்த வளையத்தின் ஸநி, தப என்ற பாகங்கள் காந்தப் புலத்தை வெட்டிச் செல்லுவதால் இவ்வளையத்தில் ஒரு சிறு அருவி பாய்கிறது. இந்த அருவியின் திசை ஸ நி த ப என்பதாகும். பாதி சுற்று ஆனவுடன் ஸநியும் தபவும் தமக்குள் இடம் மாறிவிடுகின்றன. எனவே இப்போது அருவியின் திசை ப த நி ஸ ஆகும். இவ்வாறாக ஒரு முழுச்சுற்று முடிவதற்குள், அருவியின் திசை இரண்டு முறை மாறிவிடுகிறது. இவ்வளையம்

ஒரே திசையில் சுற்றிக்கொண்டிருந்தால், அதில் அருவியும் திசை மாறி மாறி ஓடிக்கொண்டிருக்கும். ம, க என்னும் இரண்டு பரிசங்களும் வளையத்தின் முனைகளோடு இணைக்கப்பட்ட ரி, ரீ என்னும் உருளைகளின் மீது அழுத்திக்கொண்டிருக்கின்றன. (படம் 479 (2)).

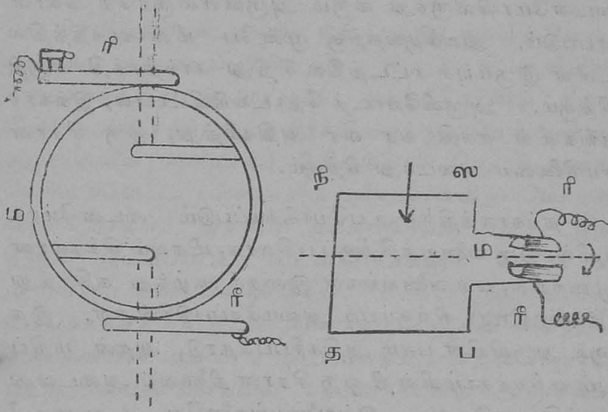


படம் **496** (2)

இவ்வுருளைகள் இரண்டும் வளையம் சுழலுகின்ற இருசின் மீதே சுழலுகின்றன. பரிசங்களின் மூலமாய் அருவி வெளி மண்டலத்தில் ஓடி வருகிறது. காந்தப் புலத்தின் பலமும் வளையம் சுழலும் வேகமும் அதிகரிக்க, அருவியின் பலமும் அதிகரிக்கிறது. இந்த அருவியின் திசை மாறி மாறி வருவதால் இவ்வருவிக்கு மாறுமின்னோட்டம் (Alternating Current) என்று பெயர். இதை உண்டாக்கும் கருவிக்கும் நேறிமாற்றி (Alternator) என்று பெயர்.

ஆயினும் இதை ஒரு முகமாய்ச் செல்லும் நேர் அருவியாகவும் மாற்றலாம். இதற்கு 'மாற்றகம்' (Commutator) என்னும் கருவி கையாளப்படுகிறது.

இதைப் (படம் 497(1)) இல் பார்க்கவும். இதில் நீள வாட்டத்தில் பிளக்கப்பட்ட ம என்னும் உருளையின் இரு பாதிகள், முறையே ஸ நி த ப என்னும் வளையத்தின் இரு முனைகளோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவை பரஸ்பரம் உதைவு ஏற்படாமல் தடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ரி, ரீ என்னும் இரண்டு பரிசங்கள் இவற்றின் மீது அழுத்திக்கொண்டிருக்கின்றன. அவற்றின் மூலமாகவே அருவி வெளிமண்டலத்திற்குச் செல்லுகிறது.



(1) படம் **497** (2)

படத்தில் (படம் 497(2)) கண்டபடி இவ்வளையம் சுழலுமானல், அருவி ப த நி ஸ என்னும் திசையில் ஓடி ரி என்னும் பரிச வழியாய் வெளிச்செல்லும். பாதி சுற்று ஆனவுடன் அருவி ஸ நி த ப என்னும் திசையில் ஓடிவரும். ஆனல் இப்போது ப என்ற முனையோடு இணைக்கப்பட்ட உருளைப் பிளவு ரி-ஐத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும். ஆகையால் இப்போதும் அருவி ரி வழியாகவே வெளிவரும். இவ்வாருக அருவி ஓடும்

திசை ஸ நி த ப என்னும் வளையத்தினுள் மாறுபடினும், வெளிமண்டலத்தில் அருவியின் திசை மாறாதிருக்கும். இந்த அமைப்பையே 'நேர்-அருவி டைனமோ' (Direct current dynamo) என்பார்கள்.

டைனமோக்களுக்கு வேண்டிய காந்தப்புலங்கள் பெரிய மின்காந்தச்சட்டங்களால் உண்டாக்கப்படுகின்றன. இந்த மின்காந்தத்திற்கு வேண்டிய அருவி டைனமோவிலிருந்து வரும் அருவியிலிருந்தே கொள்ளப்படும். துவக்குவதற்கு முன்பே மின்-காந்தத்தில் உள்ள இரும்புச் சட்டத்தில் சிறிது காந்தசக்தி எஞ்சி நிற்கும். அருவியோடத் தொடங்கிவிட்டால், இக்காந்தங்களின் சக்தி வர வர அதிகரித்து, ஒரு சீரான சமநிலையை அடைந்து நிற்கும்.

தற்காலத்தில் உபயோகிக்கப்படும் டைனமோக்களில், ஒரு வளையத்திற்குப் பதிலாக, மிகவும் சிக்கலான முறையில், பல வளையங்கள் இதைச் சூழ்ந்து கதிர்த்து (Radiating) நிற்கும்படி அமைக்கப்படுகின்றன. இதனால் அருவியின் பலம் அதிகரிப்பதோடு, அதன் மதிப்பும் ஏற்றத்தாழ்வின்றி ஒரு சீரான நிலையை அடைவது சாத்தியமாகிறது. இவ்வளையங்களையே 'அடை' (Armature) என்று கூறுவார்கள். இதைச் சுழலச் செய்வதற்காகவே இயந்திர சாதனம் வேண்டியிருக்கிறது. இதற்கு மூன்று வித சக்திகள் பயன்படுகின்றன. அவையாவன: 1. நீர்வீழ்ச்சியின் சக்தி. 2. நீராவிச் சக்தி. 3. எண்ணெய்ச் சக்தி.

மலையினின்று ஓடிவரும் ஆறுகள் சில இடங்களில் செங்குத்தாக மிகுந்த விசையோடு கீழே விழுகின்றன. அவ்விடங்களில் மலையின்மீது நீரைத் தேக்கிக் கட்டுப்பாட்டுக்கு உட்படுத்தி, தண்ணீரைச் சீராகப் பெரிய

எஃகுக் குழாய்களின் வழியாக விழச் செய்கிறார்கள். தண்ணீர் கீழே விழும் இடத்தில் பெரிய பல்சக்கர உருளைகளை ஏற்றிவைத்து அவற்றின்மீது விழும் நீரின் விசையால் அவற்றைச் சுழலச் செய்கிறார்கள். இவ்வுருளைகளோடு இணைக்கப்பட்ட டைனமோவின் அடைகளும் இதனால் சுழன்று மின்சார அருவி பெறப்படுகிறது. இந்த அருவியைப் பிரதம கம்பிகளால் நெடுந்தூரமுள்ள இடங்களுக்கும் கொண்டு சென்று உபயோகப்படுத்திக்கொள்ளலாம்.

நீர்வீழ்ச்சிகள் அருகில் இல்லாத இடங்களில் வேறு முறைகள் கையாளப்படுகின்றன. நிலக்கரி எளிதில் கிடைக்கக்கூடிய இடமானால், அதைக்கொண்டு நீராவியை உண்டாக்கி, அந்த நீராவியைக் குறுகிய வாயுள்ள குழாய்களின் மூலமாகப் பீறிட்டுவரச் செய்து அதை மேற்கூறப்பட்ட பல்சக்கர உருளைகளின்மீது மோதச் செய்கிறார்கள். அதனால் அவ்வுருளைகள் சுழல, அதனோடு பூட்டப்பட்ட டைனமோக்களும் சுழன்று அருவியை உண்டாக்குகின்றன. நிலக்கரியும் எளிதில் கிடைக்கக்கூடாத இடமானால் 'குரூட் ஆயில்' என்னும் எண்ணெயின் ஆவியால் ஓட்டப்படும் என்ஜின்களோடு பூட்டி, டைனமோக்களை சுழலச் செய்து அருவியை உண்டாக்குகிறார்கள்.

இவற்றுள் முதலில் கூறப்பட்ட முறையில் செலவு மிகக் குறைவு. மைசூரில் உள்ள சிவசமுத்திர நீர்வீழ்ச்சியிலும், நீலகிரியில் உள்ள பைகாரா நீர்வீழ்ச்சியிலும் இவ்வாறே மின்சார சக்தி உண்டாக்கப்படுகிறது. வட அமெரிக்காவில் நையாகரா நீர்வீழ்ச்சியில் ஏற்படுத்தப்பட்டிருக்கும் மின்சார சக்தி நிலையமே உலகத்தில் மிகப் பெரியதாகும். இரண்டாவது முறை இதைவிடச் சிறிது அதிகச் செலவு பிடிக்கக்கூடியது. இம்முறை பிரிட்டனில் பெரும்பாலும் கையாளப்படு

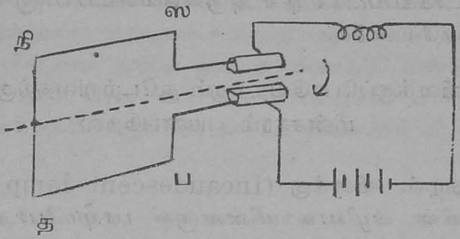
கிறது. கல்கத்தா நகரில் உள்ள சக்தி நிலையமே நமது நாட்டில் உள்ளதில் மிகப் பெரியதாகும். நமது மாகாணத்திலும் பெஜவாடாவில் சமீபத்தில் இக்நீராவி முறையைக் கொண்ட மின்சார சக்தி நிலையம் ஒன்று ஏற்படுத்தியிருக்கிறார்கள். ஒரிஸாவிலும் மத்திய மாகாணத்திலும் கிடைக்கும் நிலக்கரி இதற்குப் பெரிதும் பயன்படுகிறது.

நிலக்கரியும் கிடைக்காத இடங்களில் மூன்றாவது முறையாகிய எண்ணெய் இயந்திரங்களை உபயோகிக்கிறார்கள். நமது நாட்டில் பல ஊர்களில் இவ்வாறே செய்கிறார்கள். இது பின்னும் அதிகச் செலவு பிடிக்கக் கூடியது.

மின்சார மோட்டார் :—காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு வளையத்தில் மின்னருவி ஓடினால், அந்த வளையம் சுழன்று, காந்தப்புலத்திற்குக் குறுக்காக நிற்க முயலுமென்று முன்பு கண்டோம். அவ்வாறு சுழலும் போது அது தனது ஜடத்வத்தினால் ஏற்பட்ட உந்தத்தால் சமநிலையைத் தாண்டிச் சிறிது தூரம் செல்லுவது இயற்கை. இப்போது நாம் காந்தப்புலத்தின் திசையை எதிர்முகமாக மாற்றிவிட்டதாகக்கொள்வோம். இதனால் அவ்வளையம், தான் திரும்பிய திசையிலேயே மேலும் சுழன்று, இன்னும் மற்றொரு பாதிச் சுற்றை மேற்கொள்ளும். இவ்வாறாக நாம் காந்தப்புலத்தின் திசையைத் தக்க சமயத்தில் மாற்றுவதால், இவ்வளையத்தைச் சுழன்றுகொண்டே நிற்கச் செய்யலாம்.

(படம் 498)ஐ எடுத்துக்கொள்வோம். அதில் உள்ள துருவங்களோடு ஒரு மின்கல அடுக்கை இணைத்து வளையத்தின் மூலமாய் ஒரு அருவியைச் செலுத்துவோம். வளையம் சுழன்று காந்தப்புலத்திற்குக் குறுக்காக நிற்க முயலும். அதனுடைய உந்தத்

தால் அது சமநிலையைத் தாண்டிச் சிறிது மேலே கொண்டு செல்லப்படும். அதற்குள்ளாக மாற்றகத்தில் துருவங்களின் குறி மாறிவிடும். இதனால் கம்பி வளையம் மேலும் அரைச்சுற்று சுழலவேண்டியதாகும். அதற்குள்ளாக மறுபடியும் துருவங்கள் மாற மேலும் அரைச்சுற்று சுழலும். இவ்வாறாக இவ்வளையம்



படம் 498

சுழன்றுகொண்டே நிற்கும். இதுவே மின்சாரமோட்டார் எனப்படும். இதற்கும் முற்கூறிய டைனமோவுக்கும் அதிக வேற்றுமையில்லை. டைனமோவில் இயந்திரவியல் இயக்கத்தை நாம் இட்டு மின்னருவியைப் பெற்றோம். மோட்டாரில் மின்னருவியை நாம் இட்டு இயந்திரவியல் இயக்கத்தை நாம் பெறுகிறோம். இவ்வியக்கத்தால் ஏற்படும் ஆற்றலைக்கொண்டு நாம் இயந்திரங்களை ஓட்டுதல் முதலாகிய பல காரியங்களைச் செய்யலாம். பெரிய மோட்டார்களைக்கொண்டு டிராம் வண்டிகளும், மின்சாரத் தொடர் வண்டிகளும், தொழிற்சாலைகளில் வேலை செய்யும் பெரிய இயந்திரங்களும் ஓட்டப்படுகின்றன. இறைவிகள், நிறைவிகள், மின்சார விசிறிகள் முதலியவை சிறிய மோட்டார்களால் ஓட்டப்படுகின்றன.

இதில் ஒரு விஷயத்தை நாம் மறந்துவிடக்கூடாது. ஒரு மோட்டார் வேலை செய்யும்போது, கம்பிவளையம்

ஒரு காந்தப்புலத்தில் சுழலுவதால் அதில் ஒரு மின்னியக்க சக்தி ஏற்பட்டு, அது ஒரு சிறு அருவியை மோட்டாரினுள் நாம் செலுத்தும் அருவிக்கு எதிர் முகமாக ஓட்ட முயலுகிறது. இதனால் நாம் செலுத்தும் அருவியின் பலம் குறைந்துவிடுகிறது. ஆதலின் நாம் செலுத்தும் அருவியின் பலம் மோட்டாரிலுள்ள அடையினால் உண்டாக்கப்படக்கூடிய அருவியைவிடப் பலமுள்ளதாய் இருக்கவேண்டும்.

விளக்குப்போடுவதற்கும் சூடேற்றுவதற்கும் மின்சாரம் பயன்படுதல்

தழல் விளக்கு (Incandescent lamp):—ஒரு கம்பியின் வழியாக மின்னருவி பாயும்போது அது சூடேறுகிறதென்றும், சில சமயங்களில் அது சூடேறிப் பழுத்துவிடுதலும் உண்டு என்றும் முன்பு கூறினோம். இந்தத் தத்துவத்தைக்கொண்டுதான் மின்சாரத் தழல் விளக்குகள் செய்யப்படுகின்றன. ஒரு கண்ணாடிக் குமிழுக்குள் ஒரு மெல்லிய கரி இழை அல்லது துங்கத இழை பற்றவைக்கப்பட்டிருக்கும். இக்குமிழுனுள்ளே காற்றேயில்லாதபடி செய்யப்பட்டிருக்கும். இந்தக் கம்பியின் உருகுநிலை உயர்ந்ததாய் இருக்கவேண்டும். ஏனெனில் ஒரே அளவு ஆற்றலைக் கொடுத்தாலும் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு சூடு அதிகரிக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு அது கொடுக்கும் ஒளியும் அதிகமாகும். முதலில் பிளாடினம் இழைகளை உபயோகித்தார்கள். ஆனால் இது சரிப்படவில்லை. செலவுக்குக் கட்டிவரும்படி அது ஒளி கொடுக்கவேண்டுமானால், பிளாடினம் இழையை அதன் உருகுநிலைவரை சூடேற்றவேண்டியிருந்தது. அருவியின் பலம் சிறிது அதிகமாயினும் கம்பி உருகி வழிந்துவிடும். கரி இழையே பலநாட்களாக உபயோகிக்கப்பட்டது. ஆனால் இப்போது எல்

லாம் துங்க்ஸ்டன் இழையே உபயோகிக்கப்படுகிறது. அவ்விழை பஸ்மீகரித்துவிடாதிருப்பதற்காக அதைப் பாழிடத்தில் வைக்கவேண்டியிருக்கிறது. இதனால் நீட்டத்தால் சூடு கண்ணாடிச் சுவர்களுக்குப் பரவி விரயமாவதும் தடுக்கப்படுகிறது. உலகப் பெரும் போருக்குச் சற்று முன்னே இக்குமிழ்களில் அரிகன் (Argon) போன்ற ஜடவாயுக்களை (Inert gases) நிரப்பி வைத்தால் இழைகள் இன்னும் உயர்ந்த சூட்டைத் தாங்குவதாயும் பின்னும் அதிக ஒளி தருவதாயும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அரை-வாட்டு விளக்குகள் எனப்படும் இவ்விளக்குகளே இப்போது பெரும்பாலும் விற்கப்படுகின்றன.

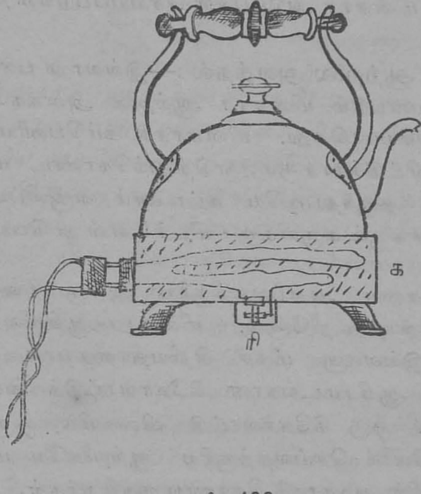
சுடர்விளக்கு:—ஒன்றுக்கொன்று 70 அல்லது 80 ஓல்ட்டுகள் வேற்றுமையுள்ள நிலைப்புகளைக்கொண்ட இரண்டு கரித்துண்டுகளைத் தொடச் செய்து, பிறகு சட்டென்று அவற்றை விலக்கி நீக்கினால், மிகுந்த பிரகாசமும் சூடும் கொண்ட ஒரு மின்சாரப் பாய்ச்சல் அவற்றினிடையே ஏற்படுகிறது. இதுவே மின்சாரச் சுடர் எனப்படும். கரித்துண்டுகளைத் தீண்டச் செய்து பிறகு நீக்குதலாகிய இச்சொல் 'சுடரைத் தூண்டுதல்' எனப் பெயர்பெறும். இப்பாய்ச்சல் சிறிது நேரம் நிகழ்ந்த பின் நோக்கினால் மிகைத்துருவத்தின் முனை உட்குழிந்திருப்பதும் குறைத்துருவத்தின் முனை கூர்மையடைந்திருப்பதும் தெரியவரும். இரண்டிலும் கரி உண்ணப்பட்டே இருக்கும். ஆனால், மிகைமுனை குறைமுனையைவிட இரு மடங்கு வேகத்தோடு கரியை இழக்கும். இதில் வெளிப்படும் ஒளியில் 85 சத வீதம் மிகைமுனையிலுள்ள அனல்வாயினின்று வருகிறது. மிகுந்த 15 சதவீதம் குறைமுனையினின்றும் இடைப்பட்ட ஆவியினின்றும் கிடைக்கிறது. அனல்வாயின் சூடு 4,000° கெ. ஆகும். அருவியின் பலம் அதிகமானால்

விளக்கினின்று சீறுவது போன்ற ஒலியெழும். இரண்டு கரித்துண்டுகளுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் மிக அதிகமாய்விட்டால் விளக்கு அணைந்துவிடும். தெரு வெளிச்சத்திற்கு உபயோகிக்கப்படும் சுடர்விளக்குகளில் தூண்டுதலும் எரிதலும் தாமாகவே செய்துகொள்ள ஏற்பாடு செய்யப்பட்டிருக்கிறது. படம் காட்டுவதற்கு உபயோகப்படும் சுடர் விளக்குகள் கையாலேயே பற்றவைக்கப்படும். தெரு விளக்குகளில் காற்றைக் குறைத்து கரித்துண்டுகள் நீடித்து நிற்குமாறு அவைகளைக் கண்ணாடிக் குமிழுக்குள் வைப்பது வழக்கம். கரித்துண்டுகளை ஒரே இருசில் ஏற்றிவைக்காமல் மிகைத்துருவம் உள்ளடங்கும்படி சாய்த்து வைப்பார்கள். இதனால் அனல்வாயைக் குறைமுனையில் மூடாமல் ஒளி அதிகமாய் வெளிவரச் சௌகரியமாய் இருக்கிறது. மற்றும் கரித்துண்டுகளின் உள்ளீடாக ஆரகம் (Strontium), சுதையம் (Calcium), பாரியம் (Barium), திதேனியம் (Titanium) உப்புகள் இடப்பட்டிருக்கும். இதனால் இடைப்பட்ட ஆவி ஒரு பிரகாசமான கொழுந்தாகி ஒளி மிகவும் அதிகரிக்கும். இது சுடர்க்கொழுந்து (Flame arc) எனப்படும்.

மின்சார அடுப்பு (Electric heater) :— பலவித வடிவங்களில் செய்யப்பட்டுப் பலவேறு வகைகளில் பயன்படுகிற எல்லா மின்சார அடுப்புகளும் ஒரே தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டனவாம். உயர்ந்த தகைவுகொண்ட மெல்லிய கம்பிகள் வழியாக மின்சாரம் பாயும்போது அக்கம்பிகள் சூடேறுகின்றன. உறையிடப்பட்ட இக்கம்பிகளைப் பலவேறு வடிவங்களைக் கொண்ட இரும்பு அல்லது உருக்குக் களிமண் (Fire-clay) சட்டங்களின்மீது சுற்றி வைக்கப்படும். இதனால் சட்டகம் சூடேறிப் பழுத்து அடுப்புக்குரிய தொழிலைச் செய்கிறது. மின்சாரச்சுடரைக்கொண்டு இயற்றப்

பட்ட மற்ெறாரு வகை அடுப்பு உண்டு. கரியாலாகிய மின் துருவங்கள் சுண்ண நீற்று (Lime)க் கட்டியினுள்ளாவது உருக்குக் களிமண் கட்டியினுள்ளாவது பதிக்கப்பட்டிருக்கும். இவ்விரண்டு துருவங்களுக்கிடையிலேயுள்ள ஒரு சிறு பள்ளத்தில் சூடேறவேண்டியபொருள் வைக்கப்படும். பலத்த அருவியை இதனுள் செலுத்த உயர்ந்த சூடு உண்டாகும்.

மின்சாரக் கேட்டில் (Electric kettle) :—சிறிதளவு தண்ணீரைக் கெட்டிலில் காய்ச்சுவதற்கும் இஸ்திரிப் பெட்டிகளைச் சூடேற்றுவதற்கும் மின்சாரத்தை



படம் 499

உபயோகிப்பது மிக மலிவாகும். இதிலே தோன்றும் வெப்பம் முழுவதும் சூடேற்றுவதிலேயே செலவழிக்கப்படுவதால் ஆற்றல் வீணுவது இல்லை. இவை யிரண்டிலும் மின்சார அருவிகள் 'மாங்கனின்' (Manganin)

அல்லது 'யூரிகா' (Eureka) உலோகக் கம்பிகளின் மூலமாகப் பாய்கின்றன. இக்கம்பிகள் கெட்டிலின் அடிப்பாகத்திலே பதியவைக்கப்பட்டிருக்கும். (படம் 499)இல் க என்னும் தகைவுக்கம்பி இவ்வாறு பதிய வைக்கப்பட்டிருப்பதைக் காணலாம். கெட்டிலினுள்ளே தண்ணீர் இல்லாதபோது சூடேறுவதால் கெட்டில் கெட்டுப்போகக்கூடுமாகையால், கம்பியின் இடையிலே உருகக்கூடிய ரீ என்னும் ஒரு உலோக முளை வைக்கப்பட்டிருக்கும். சூடு அதிகமாய்விட்டால் இந்த முளை உருகி வழிந்துவிடுமாகையால் மின்மண்டலம் அறுந்து அருவி நின்றுவிடும். இதே தத்துவத்தை யடியாகக் கொண்டு மின்சார அடுப்புகள் செய்யப்படுகின்றன.

மின் ஆற்றலை அளத்தல் :—இவ்வாறு பல துறைகளில் பயன்படும் மின்சார ஆற்றலை அளக்கவேண்டியது அவசியமாகிறது. மின்சாரக் கம்பெனியார் ஒவ்வொரு வீட்டுக்காரரும் எடுத்துக்கொண்ட மின்னாற்றலுக்குத் தகுந்தபடியே கட்டணம் வசூலிப்பார்கள். இதை யளக்கும் கருவிக்கு 'மீடர்' என்று பெயர்.

விசையை அளப்பதற்குரிய அலகு 'வாட்டு' என்று முன்பு கூறினோம். மின்சார-ஆற்றலை அளப்பதற்கு இவ்வலகு மிகச் சிறியதாகையால் இதைப் போன்று ஆயிரமடங்கான கிலோவாட்டுக் கையாளப்படுகிறது. ஒரு கிலோவாட்டு விசையில் ஒரு மணி நேரம் வேலை செய்வதற்குரிய ஆற்றலையே மின்சார அளவுகளில் அலகாகக் கொண்டிருக்கிறார்கள். இதை 'அலகு' என்றே கூறுவது வழக்கம். இதைக் கிலோ வாட்டு மணி என்று கூறுதலும் உண்டு. மின்சார மீடர்கள் உபயோகிக்கப்பட்ட மின்சார ஆற்றலின் அளவை இத்தனை அலகுகள் என்று குறிப்பிடும். ஒரு அலகு மின்சார ஆற்றலின் விலை மின்சாரம் உண்டாக்

கப்படும் முறையையும் அது உண்டாக்கப்படும் அளவையும், உபயோகிக்கப்படும் அளவையும் பொறுத்திருக்கும்.

உதாரணம் 1. ஒரு அலகு ஆற்றலின் விலை 4 அணு ஆனால், 25 வாட்டு விளக்கை 20 மணி நேரம் எரிப்பதற்கு ஏற்படும் செலவைக் கணக்கிடுக.

1,000 வாட்டுகள் 1 மணிக்கு வேலைசெய்ய 4 அணு.

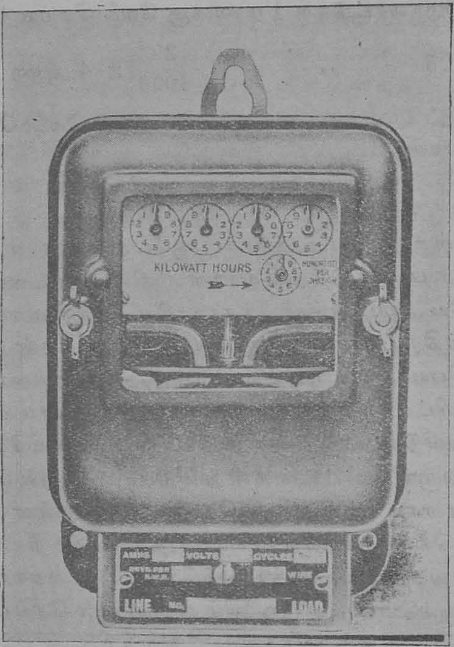
25 ,, ,, $\frac{25}{1000} \times 4$ அணு

25 ,, ,, 20 மணி வேலை செய்ய

$$\frac{25}{1000} \times \frac{4 \times 20}{1} = 2 \text{ அணு}$$

மின்சார ஓட்டத்தால் சூடேறுவதை மற்றொரு வகையில் பயன்படுத்துகிறார்கள். மின் மண்டலங்களின் இடையே தூயவெள்ளியத்தாலாகிய மெல்லிய கம்பிகளை இணைத்திருப்பார்கள். இவற்றிற்கு உருகிகள் (fuses) எனப் பெயர். அருவியின் பலம் ஒரு எல்லையை மீறிப் பெருகிவிட்டால் இவ்வுருகிகள் சூடுதாங்காமல் உருகி வழிந்துவிடும். இதனால் மண்டலம் இடையிலே அறுபட்டு அருவியோட்டம் நின்றுவிடும். இதனால் பலமான அருவிகளால் கம்பிகள் சூடேறி, அருகிலுள்ள கட்டைகளில் நெருப்புப்பற்றி, கட்டிடத்திற்குத் தீ விபத்து நேரிடாவண்ணம் தடுக்கப்படுகிறது. மின்சார வசதியுள்ள ஒவ்வொரு வீட்டிலும் பீங்கானால் செய்யப்பட்ட உருகு பெட்டிகள் இருக்கும். இவற்றினுள் பல உருகு கம்பிகள் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். அவற்றில் ஒவ்வொன்றும் வீட்டின் ஒவ்வொரு பாகத்திற்குச் செல்லும் அருவியைக் கட்டுப்படுத்தும். பிரதம உருகு எனப்படும் ஒன்று வீட்டினுள் வரும் பிரதம மண்டலத்தைக் கட்டுப்படுத்தி நிற்கும்.

மின்சார மீடர் :— வீடுகளிலே செலவழிக்கப்படும் மின்சார விசையை அளப்பதற்குரிய 'மீடர்' என்னும் கருவியிலே ஒரு சிறு மின்சார மோட்டார் இருக்கிறது. இது மெதுவாக ஓடும். (படம் 500). இதில் நான்கு பெரிய வட்டில்கள் இருக்கின்றன. ஒவ்வொன்றும் பத்து சமபாகங்களாக வகுக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஒவ்



படம் 500

வொரு வட்டிலின் மையத்திலும் ஒரு முள் இருக்கிறது. இந்த முட்களின் இருசுகளெல்லாம் பற்சக்கரங்களின் மூலமாக மோட்டாரின் அடையோடு பூட்டப்பட்டுள்

ளன. இந்த மீடரின் வழியாக அருவி பாயும்போது அடை சுழலுகிறது. அதனால் அதனோடு பூட்டப் பட்டுள்ள முட்களும் சுழலுகின்றன. ஒவ்வொரு வட்டிலிலும் காணப்படும் கிலோவாட்டுமணி யலகுகள் அதன் மேலேயே காட்டப்பட்டிருக்கும். வேண்டிய போது மீடரின் வாசகத்தை இந்த வட்டில்களிலே கண்டு குறித்துக்கொள்ளலாம்.

மின்னூட்டத்தின் உபயோகங்கள் :—

மின்சாரப் பூச்சிடுதல் (Electroplating), மின் சார அச்சேடுத்தல் (Electrotyping), உலோகங்களைத் தூய்மை செய்தல் (Purification of metals) ஆகிய பல துறைகளில் மின்னூட்டம் பயன்படுகிறது.

மின்பூச்சிடும் முறை வருமாறு :—பூச்சிடவேண்டிய சாமானை நன்றாகத் தேய்த்து சுத்தப்படுத்தி, பூசவேண் டிய உலோகத்தின் உதாரணமாக செம்பு, நிக்கல், அல் லது வெள்ளி, உப்புக்கரைநீரில் அதை முழுக்கி வைக் கப்படும். இந்த சாமானைக் குறைத்துருவமாகவும், பூசவேண்டிய உலோகத்தின் தகடொன்றை மிகைத் துருவமாகவும் கொண்டு ஒரு மின்னருவி செலுத்தப் படும். சிறிது போதில் சாமானின் மேற்புற முழுவதும் பூச்சிடப்பட்டுவிடும்.

மின்சார அச்சேடுக்கும் முறை வருமாறு :—ஒரு பக்கம் முழுவதும் சாமனியமாய் அச்சு கோக்கப்படும். இதன்மீது ஒரு மெழுகு அட்டையை அழுத்திப் பிரதி (mould) யெடுக்கப்படும். இதன்மீது வரையி (Graphite)த் தூள் தூவப்படும். இதனால் இப்படலத்தின் வழியாய் மின்சாரம் பாய்வது சாத்தியமாகிறது. இதை செப்புக்கந்தகைக்கரைநீரில் முழுக்கிவைத்து, மற்றொரு செப்புத்தகட்டை மிகைத்துருவமாகக்கொண்டு மின்

னூட்டப்படும். இதனுல் மெல்லிய செப்பு அச்சுத்தகடு பெறப்படும். மெழுகை நீக்கிவிட்டு மற்ருெரு கெட்டியான உலோக அட்டையைப் பின்னுல் கொடுத்து கெட்டிப்படுத்தப்படும். இது சாதாரண அச்சைவிடக் குறைவாகத் தேய்வுறும். ஆகையால் லக்ஷக்கணக்கான பிரதிகள் அச்சிடுவது சாத்தியமாகிறது.

செப்புத்தகடுகளை சுத்தப்படுத்தும் முறை வருமாறு:—தூய செப்புக்கந்தகைக்கரைநீரில் சுத்தப்படுத்தப்படாத செப்புத்தகடுகளை முழுக்கி, அவற்றை மிகைத்துருவமாகவும், மற்ருெரு தூய செப்புத்தகட்டை குறைத்துருவமாகவும் கொண்டு அருவி செலுத்தப்படும். இதனுல் மிகைத்துருவம் கரைந்து, அதிலுள்ள அசுத்தங்களெல்லாம் வண்டலாக அடியில் தங்கிவிட, தூய செம்பு மட்டும் குறைத்துருவத்தின் மீது வந்து படியும்.

இவற்றைத் தவிர இன்னும் பலவேறு துறைகளிலும் மின்னூட்டம் பயன்படுகிறது. தக்க மின்னூட்டிகளாகிய கனிப் பொருள்களின் மூலமாய்ப் பலமான அருவிகளை டைனமோக்களைக்கொண்டு செலுத்தி, சாம்பரம், உவரம், அலுமினியம் போன்ற சில உலோகங்கள் தூய நிலையில் பெறப்படுகின்றன. கனிப்பொருளாகிய 'பாக்ஸைட்' என்னும் களிமண்ணிலிருந்தே அலுமினியம் இவ்வாறு எடுக்கப்படுகிறது. உவரமும் சாம்பரமும் அந்த உலோகங்களின் தீயதைகளை உருக்கி மின்னூட்டிப் பெறப்படுகின்றன.

வினாக்கள்

1. ஒரு மண்டலத்திலே மின்னருவி ஓடும்போது அதிலே வெப்பமாறுபாடுகளும், இரசாயன மாறுபாடுகளும், காந்தவியல் மாறுபாடுகளும்ம் நிகழ்கின்றன. இந்த விளைவுகளைக் காட்டுவதற்கான பரிசோதனைகளை விவரித்துரைக்கவும். இவ்விளைவுகளெல்லாவற்றையும் எவ்வாறு மனிதன் தனக்குபயோகமாகுமாறு செய்து கொள்ளுகிறான் என்பதை ஒவ்வொரு உதாரணத்துடன் விளக்குக.

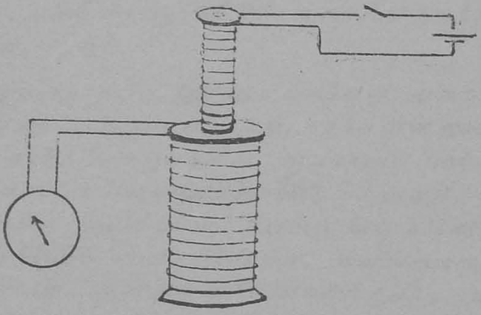
(பாட்ன : 1933)

அத்தியாயம் 9

பௌதிக இயலின் நவீனங்கள்
(Modern Physics)

ஒரு காந்தப்புலத்தின் வலிமை மாறுபடுவதால் மின்னருவி ஏற்படுகிறது:—

உறையிடப்பட்ட மெல்லிய கம்பிச்சுருள் ஒன்றின் இரண்டு முனைகளை ஒரு மின்னோட்டமானியோடு பிணைக்கவும். சிறிது தடிப்பான உறையிட்ட கம்பிச் சுருள் ஒன்றை முன்கூறிய சுருளினுள்ளே வைக்கவும். (படம் 501). இந்தச் சுருளிலே சுற்றுகளின் எண்



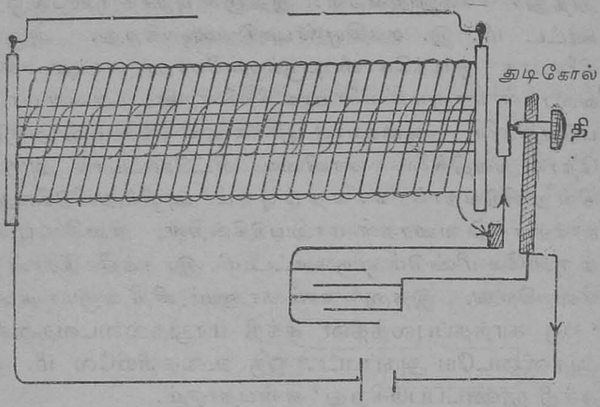
படம் 501

ணிக்கை குறைவாக இருக்கவேண்டும். இச்சிறு சுருளின் முனைகளை ஒரு மின்கடத்தோடும் ஒரு சாவியோடும் கூடிய மண்டலமாகத் தொடுக்கவும். சாவியை அழுத்தினல் உடனே மின்னோட்டமானியிலே உதைப்பு ஏற்படுவதைக் காணலாம். சாவியை விட்டால் மீண்டும் ஒரு உதைப்பு ஏற்படுகிறது. ஆனல் இந்த உதைப்பு முன்னைய உதைப்புக்கு எதிர்த்திசையில் நிகழ்கிறது.

இதன் காரணம் வருமாறு:—சாவியை அழுத்தின வுடனே உள்-சுருளைச் சுற்றி ஒரு காந்தப்புலம் ஏற்படு கிறது. இப்புலத்தின் சக்திவரைகள் புறச்சுருளை ஊட றுத்துச் செல்லுகின்றன. இதனால் புறச்சுருளிலே ஒரு ஊட்ட மி. இ. சக்தியுண்டாகி மறைகிறது. அருவி நிலையாக ஓடிக்கொண்டிருக்கும்போது காந்த சக்தி வரைகள் மாறாமல் நிலையாக நிற்கின்றன. அவை மாறு படுவதில்லை. ஆகையால் புறச்சுருளிலே ஊட்ட அருவி தோன்றுவதில்லை. சாவியை விட்டுவிட்டால் அருவி நின்றுவிடுவதால் காந்தப்புலம் அழிந்துவிடுகிறது. காந்த சக்தி வரைகள் மாறுபடுகின்றன. எனவே புறச் சுருளிலே மீண்டும் ஒரு ஊட்ட மி. இ. சக்தி தோன்றி மறைகிறது. இதனால் நாம் காணும் விதி வருமாறு:— 'ஒரு காந்தப்புலத்தின் சக்தி மாறுதலடைவதனல், அதனிடையே அகப்பட்ட ஒரு உகைவியிலே மி. இ. சக்தி தூண்டப்படுகிறது' என்பதாகும்.

ஊட்டச்சுருள் (Induction coil):—முன்னைய பரிசோதனையிலே கையாண்ட சாவிக்குப் பதிலாக நாம் ஒரு துடிகோலைக் (Vibrator) கையாளுவோம். இப் போது ஊட்டச்சுருளுக்கு வேண்டியன வெல்லாம் நம் மிடம் அமைந்திருக்கின்றன. (படம் 502)இல் காட் டப்பட்டுள்ள ஊட்டச்சுருளில் மின்சாரமணியிலே கையாளப்படும் துடிகோலைப் போன்றதொரு துடிகோல் கையாளப்படுகிறது. மின்சாரகடத்தின் மிகைத்துருவத் திலிருந்து வெளிப்படும் அருவி பிரதம சுருள் வழி யாகச் சென்று துடிகோலின் வழியாக தி என்னும் திருகின் முனையை அடைந்து, ப என்னும் தகைவி மூல மாக மறுபடியும் கடத்தையடைந்துவிடுகிறது. பிரதம சுருள் உறையிடப்பட்ட தடித்த கம்பியாலானது. இதில் சில சுற்றுகளே இருக்கின்றன. இச்சுருள் ஒரு கட்டு மெல்லிய தேனிரும்புக் கம்பிகளைச் சூழ்ந்திருக்

கிறது. இம்கம்பிகளெல்லாம் பரஸ்பரம் பிரித்து உறை யிடப்பட்டவையாகும். துணைச்சுருள் மெல்லிய உறை



படம் 502

யிடப்பட்ட கம்பியாலானது. பல்லாயிரம் சுற்றுகள் கொண்டது. இது ஒரு மரக்கட்டைக் கண்டின்மீது சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. இம் மெல்லிய கம்பி பல மைல் நீளம் கொண்டிருப்பதுமுண்டு.

பிரதமச்சுருள் வழியாகச் செல்லும் அருவி தேனிரும்புக்களைக் காந்தப்படுத்துவதால், துடிகோலின் முனையிலுள்ள அடை இக்கம்பிகளின் முனையால் கவர்ந்து இழுக்கப்படுகிறது. இதனுல் மின்மண்டலம் அறுந்துவிடவே தேனிரும்புக் கம்பிகள் காந்தவியல்பை இழந்துவிடுகின்றன. துடிகோலின் முனை, நெகிழ்வு மீட்சியால் மீண்டும் தி என்னும் திருகின் முனைமீது மோத, மறுபடியும் மின்மண்டலம் ஏற்பட்டு, அருவி பாய ஆரம்பிக்கிறது. இவ்வாறுக இடையீடுபட்டு வரும் அருவியால் பிரதமச்சுருளைச் சூழ்ந்துள்ள இடத்

திலே ஒரு மாறியல் காந்தப்புலம் ஏற்படுகிறது. இக் காந்தப்புலத்திலே நிற்கும் துணைச்சுருள் இப்புலத்தைக் குறுக்கிடுவதால் அதிலே ஒரு மி. இ. சக்தி தூண்டப் படுகிறது. அதன் துருவங்களுக்கிடையே பெரிய நிலைப்பு வேற்றுமை ஏற்பட்டு அதனால் மின்சாரப் பாய்ச் சலும் ஏற்படுகிறது.

துணைச் சுருளிலே தூண்டப்படும் மின்னியக்க சக்தி (1) காந்தப்புலம் மாறுதலடையும் வேகத்தின் மீதும் (2) பிரதமச் சுருளிலே ஓடும் அருவியின்மீதும் (3) துணைச்சுருளிலேயுள்ள சுற்றுகளுக்கும் பிரதமச் சுருளிலேயுள்ள சுற்றுகளுக்கும் உள்ள தகவின்மீதும் சார்ந்து நிற்கும்.

அருவி ஏற்படுவதைவிட அது அழிவது விரை விலே நிகழ்வதால் அருவி ஏற்படும்போது உண்டாகும் மி. இ. சக்தியைவிட, அருவி அழியும்போது உண் டாகும் மி. இ. சக்தி பல்லாயிரம் மடங்கு பெரிதாய் இருப்பதுண்டு.

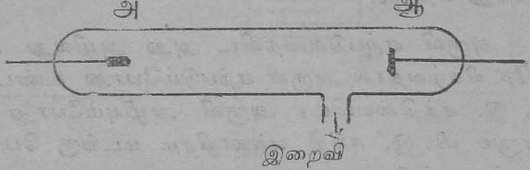
உயர்ந்த பாழிடங்களிலே மின்சாரப் பாய்ச்சல், குறைத்துருவக் கதிர்கள், மிகைத்துருவக் கதிர்கள், 'X' கதிர்கள் முதலியன :—

நாம் இப்போது மின்சாரத்தின் அடிப்படையான அம்சங்களைச் சற்றே காண்போம். மின்சாரச்சுமை மின்சார அருவி முதலியவை எவ்வாறு ஏற்படுகின்றன என்பது இதிலே தெரியவரும்.

ஊட்டச்சுருளின் துணைத்துருவங்களினிடையே மின்பொறி பாய்வதை நாம் கண்டிருக்கிறோம். இப் பாய்ச்சலின் இயல்பும் அதையுண்டாக்கும் நிலைப்பு வேற்றுமையும், துருவங்களினிடை வெளியையும் அதி லேயுள்ள காற்றையும் சார்ந்திருக்கும். காற்றின் இறுக்

கம் குறைந்தால் மின்சாரப் பாய்ச்சலுக்கு வேண்டிய நிலைப்புவேற்றுமையும் குறையும். அவ்வாறே காற்றின் இறுக்கம் அதிகமானல் இந்நிலைப்பு வேற்றுமையும் அதிகமாகும். மற்றும் இடைவெளி அதிகரித்தால் நிலைப்புவேற்றுமையும் அதிகரிக்கவேண்டியிருக்கும்.

நிற்க (படம் 503)இல் கண்ட ஒரு நீண்ட கண்ணாடிக்குழாயினுள் அதன் இரண்டு முனைகளிலே அ, ஆ என்னும் இரண்டு அலுமினியத் துருவங்கள் நீட்டிக்கொண்டிருப்பதாகவும், அவற்றோடு பிளாடினம் கம்பிகள் இணைக்கப்பட்டிருப்பதாகவும் கொள்வோம். குழாயின் இரு துருவங்களை ஒரு ஊட்டச்சுருளின் துருவங்



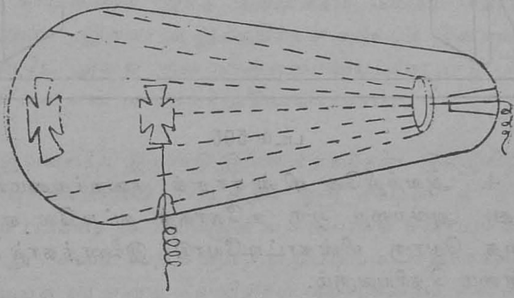
படம் 503

களோடு பிணைத்து, சுருளைத் தூண்டிவிட்டால் முதலில் ஒன்றுமே நிகழ்வதில்லை. இக்குழாயினிடையிலே பிணைக்கப்பட்டுள்ள மற்றொரு சிறு குழாயை ஒரு 'ஹைவாக்' இறைவியோடு இணைத்து, அதிலுள்ள காற்றை இறைப்போம். சிறிது நேரம் கழித்துச் சடபட என்னும் சிறு ஒலியோடு துருவங்களிடையே மின்னல் கொடிபோன்ற மின்சாரப் பாய்ச்சலைக் காணலாம். பின்னும் காற்றை வெளியேற்றிக்கொண்டே போனல் இந்த மின்னல் கொடியின் அகலம் வர வர அதிகரிக்கும். இதனோடு ஒலியும் வர வர அடங்கிவரும். கடைசியாகக் குழாய் முழுவதும் ஒரே பிரகாசமாக இருக்கும். உள்ளே அடைப்பட்டிருக்கும் வாயுவின் இயல்புக்குகந்தவாறு இந்த ஒளியின் நிறம் அமையும். இப்போது மின்

சாரப்பாய்ச்சலை உண்டாக்குவதற்கு வேண்டிய நிலைப்பு வேற்றுமையும் குறைந்துவரும். குழாயினுள்ளிருக்கும் காற்றின் இறுக்கம் ஏறக்குறைய ஒரு மிலி மீட்டர் இருக்கும்போது இந்நிலைப்புவேற்றுமை நீசநிலையை அடையும்.

நாம் பின்னும் காற்றை வெளியேற்றிக்கொண்டே போவோம். காற்றின் இறுக்கம் ஒரு மிலி மீட்டரின் ஆயிரத்திலொரு பங்கு ரசநிரைக்குச் சமமாகி விட்டால் பாய்ச்சலின் தன்மை முற்றிலும் மாறிவிடும். இப்போது பிரகாசம் முற்றிலும் மறைந்துவிட, குறைத்துருவத்திலிருந்து கண்ணுக்குப் புலப்படாத ஒரு கிரணக்கற்றை, மிகைத்துருவத்தைச் சென்று தாக்கும். இக்கிரணங்களே குறைத்துருவக்கதிர்கள் அல்லது குறைக்கதிர்கள் (Kathode rays) எனப்படும். இக்கிரணங்களின் சிறப்பியல்கள் வருமாறு :—

1. அவை கண்ணாடியின்மீது விழும்போது அதிலிருந்து பசுமை நிறமான ஒளி வெளிப்படுகிறது. இந்த ஒளியை மிகைத்துருவத்தின் பின்னேயுள்ள கண்ணாடிச் சுவரிலே நாம் காணலாம்.

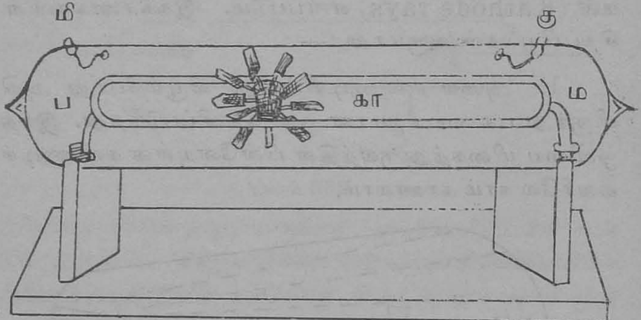


படம் 504

2. அவை நேர்கோட்டிலே செல்லுமியல்பு வாய்ந்தன. (படம் 504)இல் கண்டவாறு இதழ் விரிந்த

பூ வடிவான அலுமினியம் மிகை முனையை உபயோகித்தால், அதே வடிவுகொண்ட நிழலொன்று பின்னல் கண்ணாடியிலே விழுவதைக் காணலாம்.

3. அவை உந்தமுடையன :—குழாயினுள்ளிருக்கும் இரண்டு கம்பித்தண்டவாளங்கள்மீது மைக்கா சிறகுகள் கொண்டதொரு காற்றாடி வைக்கப்பட்டிருப்பதைக் காணலாம். இக்குழாயிலே கு என்னும் குறைத்துருவத்திலிருந்து மி என்னும் மிகைத்துருவகத்திற்கு ஒரு குறைத்துருவக் கற்றை சென்றால் அது ப ம என்ற தண்டவாளங்களின் மேல் இருக்கும் கா என்ற காற்றாடியின் சிறகுகளில் மேல் பட்டு அதைச் சுழற்றி உருட்டுவதைக் காணலாம். (படம் 505).

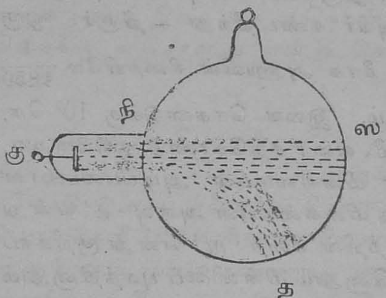


படம் 505

4. அவற்றிலே மின்சாரக் குறைச்சுமையிருக்கிறது. அவற்றை ஒரு உலோகத் தட்டிலே ஏற்று, அதை யொரு மின்காட்டியோடு இணைத்தால் இவ்வுண்மை தெரியவரும்.

5. இக்கதிர்களின் போக்கு காந்தப்புலத்தினாலும் மின்னிலைப் புலத்தினாலும் பாதிக்கப்படுகிறது. (படம் 506).

முன் கண்டபடி அவை குறைச்சுமையைக்கொண்டு இந்த இயல்பையும் அவை பெற்றேயிருக்கவேண்டும். படத்தில் கண்டவாறு ஒரு குமிழினுள்ளே பாயும் இக் குறைக் கதிர்கள் ஸ என்ற இடத்திலே கண்ணுடிச் சுவரிலே மோதுவதாகக் கொள்வோம். அங்கே யுண்டாகும் பசுமையான ஒளியினுல் இது நன்ருகக் கண்ணுக்குப் புலப்படும். இப்போது படத்தின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக ஒரு காந்தச் சட்டத்தின் தென் துருவத்தைக் காட்டினுல், இப்பசுமையான வெளிச்சம் கீழே நகர்ந்து த என்ற நிலையை அடைவதைக் காணலாம். காந்தத்தின் வடதுருவத்தைக் காட்டினுல் இந்த வெளிச்சம் மேலே நகர்ந்து செல்லும். இவ்வாறு இக்கதிர்கள் வளையும் திசையைக் கொண்டே அவை குறைமின்சுமையைக்கொண்டு செல்லுகின்றன என்று தெரிந்துகொள்ளலாம்.



படம் 506

இவ்வாறே இரண்டு இணைத்தகடுகளை இக்குமிழின் இரு புறங்களிலும் பிடித்து, ஒரு தகட்டைத் தரையோடு பிணைத்து, மற்றொன்றை உயர்ந்த நிலைப்புகொள்ளுமாறு சுமையேற்றினுல், மறுபடியும் கதிர்க்கற்றை வளைவதை ஸ என்ற வெளிச்சம் நகருவதைக் கொண்டு தெரிந்துகொள்ளலாம். எனவே இக்கதிர்கள் காந்தப் புலத்தினுலும் மின் புலத்தினுலும் பாதிக்கப்படுகின்றன வென்பதைக் காண்கிருேம்.

இந்தக் குறைத்துருவக் கதிர்கள் சிறு துகள்களாலானவையென்று கண்டு, அவற்றுக்கு 'மின்னுருக்கள்' (Electrons) எனப் பெயரிட்டவர் ஜெ. ஜெ. தாம்ஸன் என்னும் விஞ்ஞானப் பேரறிஞர் ஆவர். இவை அணுக்கள் அல்லது மூலகங்கள் அல்லவென்றும், அவற்றை விடச் சிறிய துகள்கள் என்றும், ஒவ்வொரு அணுவிலும் இத்தகைய மின்னுருக்கள் சிலவும் பலவும் இருக்கின்றனவென்றும் அவர் கண்டறிந்து கூறினர். ஒரு மின்னுருவின் நிறை நீரக அணுவின் நிறையிலே $\frac{1}{1850}$ பங்கு கொண்டதாகும். இவை செகண்டுக்கு 10^9 செ. மீ. முதல் 10^{10} செ. மீ. வரை கதிகொண்டு ஓடுகின்றன. மற்றும் இத்துகளே மின்சுமையின் அடிப்படையான அலகு ஆகும். இந்த மின்சுமையின் அளவு 'e' என்று குறிக்கப்படும். இவற்றின் நிறை 'm' என்று குறிக்கப்படும். காந்தப்புலத்தினுலும் மின்னிலைப் புலத்தினுலும் இக்கதிர்களின் போக்கு மாற்றப்படுவதை அடிப்படையாகக்கொண்டு, மின்னுருக்களின் கதியாகிய v-யும், அவற்றின் மின்சுமைக்கும் நிறைக்கும் உள்ள தகவாகிய e/m என்ற பின்னமும் அளவிடப்பட்டன.

$e/m = 1{\cdot}77 \times 10^7$ மின்காந்த அலகுகள்/கிராம் எனக் காணப்பட்டது. ஸி. டி. ஆர். வில்ஸன் என்ற அறிஞர் கண்ட பனியறை (Cloud chamber) என்னும் சாதனத்தாலே மின்னுருக்களின் சுமையாகிய e அளவிடப்பட்டது. இதன் மதிப்பு $e = 4{\cdot}77 \times 10^{-10}$ மி.நி.அ, அல்லது $1{\cdot}59 \times 10^{-19}$ கூலம் ஆகும். இதையும் நாம் முன்னுல் கண்ட e/m என்ற தகவையும் கொண்டு மின்னுருவின் நிறையாகிய 'm' கணக்கிடப்பட்டது. $m = 8{\cdot}8 \times 10^{-28}$ கிராம்.

அணுக்கள் அவிமின்னியல்பு (Electrically neutral) வாய்ந்திருப்பதால், அணுக்களிலே குறைச்சுமை

கொண்ட மின்னுருக்களைத் தவிர, மிகைச்சுமைகொண்ட கருக்கள் (Nuclei) இருக்கவேண்டுமென்று ஊகிக்கப் பட்டது. உலோகங்களிலே தன்னிச்சையாகத் திரியும் ஏராளமான மின்னுருக்கள் இருக்கின்றன. ஒரு மின் னியல் புலத்திலே இதை வைத்தால், இம்மின்னுருக் களெல்லாம் ஒருமுகப்பட்டு ஓடுகின்றன. இதுவே மின் னருவி எனப்படுவது. எனவே, நாம் இதுவரை மின் னருவி பாயும் திசை என்று கொண்டது உண்மையான திசைக்கு எதிரானது என்று கொள்ளவேண்டியிருக் கிறது.

தகைக்கும் பொருள்களிலே தன்வயமாகத் திரியும் மின்னுருக்கள் இல்லை. மின்னுருக்களெல்லாம் அணுக் களோடு இறுகப் பிணைந்து நிற்கின்றன. எனவே, இப் பொருள்களிலே எளிதாக மின்னருவி பாய்வதில்லை. ஆனால் நாம் முன்பு கண்ணாடிக் குச்சியின்மீது பட்டுத் துணியைத் தேய்த்ததுபோலத் தேய்த்தால், இம் மின் னுருக்கள் விடுபட்டுப் பட்டுத்துணியிலே கூடுவதால், அது குறைமின்சுமையை அடைகிறது. கண்ணாடிக் குச்சியோ சில மின்னுருக்களை இழந்துவிட்டமையால் மிகைமின்சுமையை அடைகிறது. அம்பர்மீது பூனை மயிரைத் தேய்த்தபோதும் இத்தகைய நிகழ்ச்சியே ஏற் படுகிறது. பூனை மயிரிலிருந்து தேய்த்தலினால் விடு பட்ட மின்னுருக்களை ஏற்ற அம்பர், குறைமின் சுமையை அடைய, மின்னுருக்களை இழந்த பூனை மயிர் மிகைமின்சுமையை அடைகிறது.

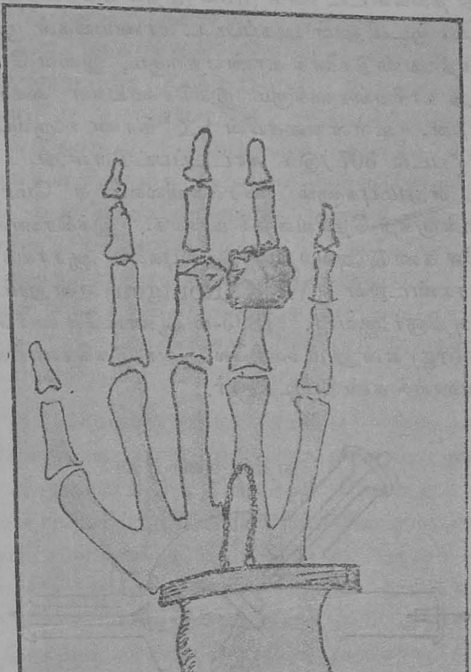
நிற்க, குறைமின்சுமை யேறிய ஒரு பொருளை, ஒரு பொன்னிலை மின்காட்டியின் தட்டினருகே கொண்டு போனால், அப்பொருளில் உள்ள மின்னுருக்கள் தட்டி லுள்ள தன்வயமான மின்னுருக்களைத் தள்ள, அவை பொன்னிலைகளை அடைதலால், அவற்றை யிழந்த தட்டு

மிகைமின்சுமையை அடைகிறது. இது ஊட்டத்தால் மின்சுமையேற்றுவதன் விளக்கம்.

மின்னூட்டத்தையும் இதைக்கொண்டு எளிதாக விளக்கலாம். சாமானிய உப்பைத் தண்ணீரிலே கரைக்கும்போது, உவரமாகிய குறை இயனி ஒரு மின்னுருவை இழந்துவிட, பாசிகமாகிய மிகை இயனி ஒரு மின்னுருவை ஏற்றுக்கொள்ளுகிறது. இதனால் உவரம் குறைச்சுமையையும், பாசிக இயனி மிகைச்சுமையையும் அடைகின்றன. இச்சுமைகள் சமமானவை. செப்புக் கந்தகையில் உள்ள செம்பு இயனி இரண்டு மின்னுருக்களை இழந்துவிட்டது. இதுவே செம்பு இரண்டு கூட்டெண் கொண்டிருப்பதின் காரணம். இதனால் ஒவ்வொரு இரசாயன பந்தனமும் ஒரு மின்னுருவைப்பற்றியிருக்கவேண்டும்.

‘X’ கிரணங்கள்:—குறைக் கதிர்கள் குமிழின் கண்ணடிச்சுவரிலே மோதும்போது பசுமையான வெளிச்சம் தோன்றுகிறது என்று நாம் முன்பு கூறினோம். இந்தப் பசுமையான வெளிச்சத்தோடு கண்ணுக்குப் புலப்படாத வேறு சில கிரணங்களும் வெளிப்படுகின்றன. இக்கதிர்கள் சில அதிசயமான இயல்புகளையுடையன. இவை உருவப்படத் தட்டுகளைப் பாதிக்கக் கூடியன. ‘பேரியம் பிளாடினோ சையனைட்’ (Barium-platino-cyanide) பூசிய தட்டின்மீது இவை பட்டால், பசுமையான வெளிச்சம் ஏற்படுகிறது. இவை எப்போதும் நேர்கோடுகளிலே செல்லும். சாமானிய ஒளிக்கிரணங்களைப் போல இவை வில்லைகளாலும் முப்பட்டைகளாலும் கோட்டமடைவதில்லை. காந்தப்புலங்களும் மின்புலங்களும் இவற்றை வளைக்க முடிவதில்லை. சாமானிய ஒளிக்கிரணங்கள் ஊடுருவிச் செல்லமாட்டாத சில பொருள்களின் வழியே இக்கிரணங்கள் ஊடுருவிச் செல்லக்கூடும். உடலின் சதை வழியாக இவை

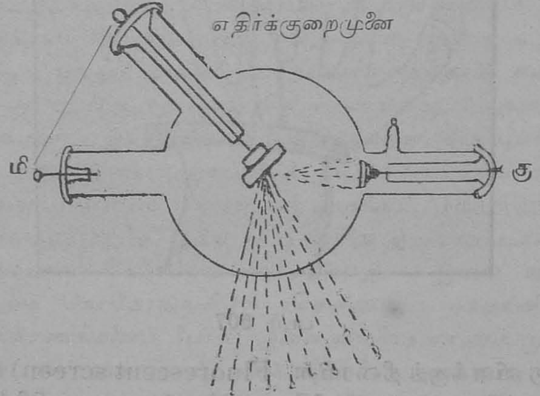
ஊடுருவிச் செல்லும். ஆனால் எலும்பின் வழியாக இவை செல்லமுடிவதில்லை. எனவே, இக்கிரணங்கள்



படம் 507

ஒரு விளக்குத் திரையின் (Fluorescent screen) மீது விழும்போது இடையிலே உள்ளங்கையை விரித்துப் பிடித்தால், அத்திரையின்மீது உள்ளங்கையிலும் விரல்களிலுமுள்ள எலும்புகளின் நிழலை மட்டும் நாம் நன்ருகக் காணலாம். இதனல் வைத்தியத் துறையிலே

இக்கிரணங்கள் பெரிதும் பயன்படுகின்றன. ஒடிந்த எலும்புகளைக் காண்பதற்கும், சதையினுள்ளே குத்திச் சென்று தங்கிவிட்ட ஊசி முனை முதலியவற்றைக் காண்பதற்கும், குடலினுள் அகப்பட்ட நாணயங்கள் முதலிய உலோகத் துண்டுகளைக் காண்பதற்கும், இவை போன்ற பலவேறு காரியங்களுக்கும் இக்கிரணங்கள் கையாளப் படுகின்றன. உள்ளங்கையின் 'X' கிரண உருவப்படம் ஒன்று (படம் 507)இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. கையினுள்ள எலும்புகளும் விரல்களிலணிந்த மோதிரங்களும் நன்றாகத் தெரிவதைக் காண்க. இக்கிரணங்களை முதலிலே கண்டு அவற்றின் இயல்புகளை ஆராய்ந்தறிந்தவர் 'ராண்ட்ஜன்' (W. K. Rontgen) என்னும் விஞ்ஞான அறிஞர் ஆவார். 1895-ம் ஆண்டிலே ஊர்ஸ்பர்க் (wursberg) என்னும் ஊரிலே அவர் இக்கிரணங்களைத் தற்செயலாய்க் கண்டுபிடித்தார்.



படம் 508

'X' கிரணக்குழாய் ('X' ray tube) :—ஒரு சாமானிய X கிரணக் குழாயின் அமைப்பு (படம் 508)

இல் காணப்பட்டுள்ளது. இதன் குறைத்துருவம் அலு மினியத்தாலானது. அது நுனியிலே குழிவடிவான இலை யொன்றையுடையது. இதனால் இதிலிருந்து வெளிப்படும் குறைக் கதிர்களெல்லாம் குவிந்து சென்று எதிர்க்குறை முனை (Anticathode) என்னும் ஒரு சிறு தட்டின்மீது மோதுகின்றன. இதுவும் அலுமினியத் தாலானதேயாகும். மிகைமுனை தனியே நிற்கிறது. இதுவும் எதிர்குறை முனையும் ஒன்றுசேர்க்கப்பட்டு, அவை ஒரு ஊட்டச்சுருளின் மிகைத்துருவத்தோடு பிணைக்கப்படும். குறைமுனையோ அதே ஊட்டச்சுரு ளின் குறைத்துருவத்தோடு இணைக்கப்படும். குறைக் கதிர்கள் எதிர்க்குறை முனைமீது மோதும்போது, அதி லிருந்து ‘X’ கிரணங்கள் வெளிப்பட்டு, குமிழினது சுவரை ஊடுருவிச் செல்லுகின்றன.

‘X’ கிரணங்களின் இயல்பு:—இக்கிரணங்கள் பிரதிபலனமடையாமலும் கோட்டமடையாமலும் இருந் தது விஞ்ஞானிகளைத் திகைக்கச் செய்தது. எனவே இவை சாமானிய ஒளிக்கிரணங்களினின்றும் முற்றிலும் வேறுபட்டனவென்று கருதினார்கள். ஆனால் 1912-ம் ஆண்டிலே ‘லவே’ என்னும் பிரஞ்சு அறிஞரும், பின் னர் “பிராக்” சகோதரர்கள் என்னும் அறிஞர்களும், இக்கதிர்களும் சாமானிய ஒளிக்கிரணங்களைப் போன்று மின்காந்த அலைகளே (Electro-magnetic waves) என்றும், ஆனால் அவற்றின் அலை நீளம் மட்டும் மிகக் குறுகியதென்றும் கண்டார்கள். அவற்றின் அலைநீளம் சாமானிய ஒளிக்கிரணங்களின் அலைநீளத்திலே சுமார் ஐயாயிரத்திலொரு பங்கு கொண்டன. சாமானியதிடப் பொருள்களிலே மூலகங்களுக்கிடைப்பட்ட தூரமும் ஏறக்குறைய அதே அளவுகொண்டது. இதனால் ‘X’ கிரணங்கள் சாமானிய திடப்பொருள்களிலே எளி தாக மூலகங்களினிடையே ஊடுருவிச் சென்றுவிடுகின்

றன. இதுவே அவை பிரதிபலனமும் கோட்டமும் அடையாதிருத்தலுக்குக் காரணம் என்று கண்டார்கள்.

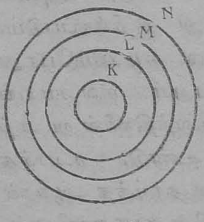
அணுவின் அமைப்பு (Structure of the atom) :—மின்னுருக்களைப்பற்றி கூறியபோது அவை அணுவின் அங்கங்கள் என்றும் குறைமின்சுமையை உடையனவென்றும் கூறினோம். அணு பொதுவாய் அலித்தன்மை வாய்ந்திருப்பதால் அணுவிலே மின்னுருக்களைத் தவிர மிகைச்சுமை யேற்றுள்ள துகள்கள் சிலவும் இருக்கவேண்டுமென்றும் கூறினோம். இனி, தற்காலத்தில் அணுவின் அமைப்பைப்பற்றி ஊகித்தறியப்பட்டுள்ள கொள்கைகளை விவரித்துக் கூறுவோம். இவைகள் எவ்வாறு தோன்றினவென்று விரித்துக் கூறின் பெருகுமாதலின், கண்ட முடிவுகளை மட்டுமே எடுத்துரைப்போம்.

ஒவ்வொரு அணுவிலும் மிகைமின்சுமையை ஏற்றுள்ளதொரு கருவும் (Nucleus), அதைச் சூழ்ந்து பல மண்டிலங்களிலே (Orbits) ஓடிவரும் குறைமின்சுமை கொண்ட மின்னுருக்களும் இருக்கின்றன. இச்சுமைகளை எடுத்துக்கூறும் போதெல்லாம் மின்னுருக்களின் மீதுள்ள சுமையையே அலகாகக்கொள்வதென்றும், அதை—e என்று குறியீடு செய்வதென்றும் முன்பு கூறினோம். நிற்க, ஒவ்வொரு அணுவிலும் கருவைச்சுற்றி எத்தனை மின்னுருக்கள் ஓடுகின்றனவோ, அத்தனை அலகு கொண்ட மிகைமின்சுமை கருவின்மீது நிற்கும். எனவே, ஒரு பூரணமான அணு மின்னியல் அலித்தன்மை கொண்டிருக்கும். மின்னுருக்களெல்லாம் சூரியனைச் சுற்றிவரும் கிரகங்கள்போல ஆயத வடிவம் (Ellipse) கொண்ட மண்டிலங்களிலே ஓடுகின்றன. இந்த மண்டிலங்களெல்லாம் வரையறுக்கப்பட்டவை. இவற்றைக் கணக்கியல் முறையினால் நிர்ணயித்துவிடலாம். மற்றும் ஒவ்வொரு மண்டிலத்திலும் இத்

தனை மின்னுருக்கள்தான் இருக்கமுடியுமென்ற நியதியும் உண்டு. மற்றும் வரையறுக்கப்பட்ட இந்த மண்டிலங்களைத் தவிர வேறு மண்டிலங்களிலே மின்னுருக்கள் செல்லமுடியாது. இப்பகுதியில் கண்டனவெல்லாம் இக்காலத்தில் தோன்றியுள்ள பிந்துவாதத்தை (Quantum theory) யடிப்படையாகக்கொண்டு காணப்பட்டவை. இந்தவாதத்தின் துணையில்லாவிடில் அணுவின் அமைப்பைப்பற்றி இப்போது ஏற்பட்டிருக்கும் அறிவு முன்னேற்றம் நிகழ்ந்திராது.

'X' கிரணங்களின் தோற்றம் :—கருவை நெருங்கி நிற்கும் மண்டிலம் முதல் மற்ற மண்டிலங்கள் முறையே K, L, M, N.......... என்று குறியீடு செய்யப்படும். மேலும் இம்மண்டிலங்கள் ஒவ்வொன்றுக்கும் ஒவ்வொரு ஆற்றல்-மதிப்பு (energy-level) உண்டு. அவை முறையே W_k, W_l, W_m........என்று குறிக்கப்படும். ஒரு மின்னுரு ஒரு மண்டிலத்திலே சுழலும்போது அம்மண்டிலத்திற்குரிய ஆற்றலைப் பெறும். சில சமயங்களிலே மின்னுருக்கள் ஒரு மண்டிலத்தினின்று மற்றொரு மண்டிலத்திற்குத் தாவுவதும் உண்டு. உயர்ந்த ஆற்றல் கொண்ட மண்டிலத்தினின்று தாழ்ந்த ஆற்றல் கொண்ட மண்டிலத்திற்கு ஒரு மின்னுருதாவினால், இவ்விரண்டு ஆற்றல்-மதிப்புகளுக்குமுள்ள வேற்றுமை ஆற்றலை வெளியிட்டே தீரும். அவ்வாறே தாழ்ந்த ஆற்றல் கொண்ட மண்டலத்தினின்று, உயர்ந்த ஆற்றல் கொண்ட மண்டிலத்திற்கு ஒரு மின்னுருதாவினால், இவ்விரண்டு மண்டிலங்களுக்குமுரிய வேற்றுமை ஆற்றலை அது உட்கொண்டே தீரவேண்டும். நிற்க, W_k, W_l, W_m என்பன முறையே உயர்ந்துசெல்லும் ஆற்றல் கொண்ட மண்டிலங்களாகும். எனவே (படம் 509) இல் கண்டவாறு N மண்டிலத்தினின்று ஒரு மின்னுரு L மண்டிலத்திலே விழுவதாகக் கொள்வோம். இப்

போது அது வெளியிடவேண்டிய ஆற்றல் $W_n - W_l$ ஆகும். இவ்வாறே L மண்டிலத்தினின்று மேலேயுள்ள M மண்டிலத்திற்கு ஒரு மின்னுரு பாய்ந்ததானால், அது உட்கொள்ளவேண்டிய ஆற்றல் $W_l - W_m$ ஆகும். இவ்வாறு மின்னுருக்கள் மேல் மண்டிலத்திலிருந்து தாழ்ந்த மண்டிலத்திற்குப் பாயும்போது வெளிப்படும் ஆற்றலே X கிரணங்களாகப் பரவுகின்றது என்று கண்டிருக்கிறார்கள். மற்றும் இவ்வாறு வெளிப்படும் X கிரணங்களின் அடுக்கத்தையும் இதிலிருந்து எளிதிலே பெறலாம். அது $W_n - W_l = h\gamma$ என்னும் இணைவிலே பெறப்படும். இதிலே γ என்பது வெளிப்படும் 'X' கிரணங்களின் அடுக்கம். h என்பது ஒரு மாறிலி. இதைப் பிந்துவாதத்தைக் கண்டுணர்ந்த 'பிளான்க்' என்னும் பேரறிஞர் கண்டார். எனவே, அது அவரது பெயரால் 'பிளான்க்' மாறிலி என வழங்கும். அதன் அளவு வருமாறு :



படம் 509

$$h = 6{\cdot}54 \times 10^{-27} \text{ ஆகும்.}$$

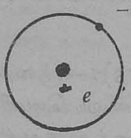
நிற்க 'X' கிரணங்களும் மின்காந்த அலைகளேயாதலால் அவை சாமானிய ஒளியின் கதியாகிய c-யையே தமது கதியாகக் கொண்டுள்ளன. எனவே, மேற்கூறிய இணைவைக்கொண்டு X கிரணங்களின் அலைநீளத்தையும் எளிதிலே கணக்கிட்டுவிடலாம். அதுவருமாறு : λ என்பது அலை நீளமானால் $c = \gamma\lambda$ என்பதை நாமறிவோம். ஆகையால் $\gamma = c/\lambda$ ஆகும். இதை முன்னே கண்ட உறவோடு இணைக்க

$$W_n - W_l = \frac{hc}{\lambda} \text{ என்றாகும்.}$$

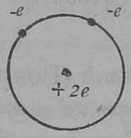
$$\text{எனவே } \lambda = \frac{hc}{W_n - W_l} \text{ ஆகும்.}$$

இத்தகைய அலைநீளங்கள் உண்டு என்பது நிற மாலைமானி பரிசோதனைகளால் காட்டப்பட்டுள்ளது. இவை விரிக்கிற் பெருகுமாதலின் இந்த விசாரணையை இதனோடு நிறுத்திச் சில எளிய அணுக்களின் அமைப்பை இனிக் காண்போம்.

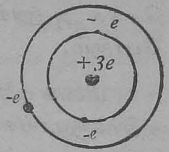
நீரக அணுவின் அமைப்பு :—அணுக்களுக்குள்ளே மிக எளிய அமைப்பை உடையது நீரகம். இதிலே ஒரு மின்னுரு மட்டுமே கருவைச் சுற்றி ஓடுகிறது. எனவே, கருவின்மீதும் ஒரு அலகுள்ள மிகைமின் சுமையே இருக்கவேண்டும். (படம் 510). இதன் மின்



படம் **510**



படம் **511**



படம் **512**

னுரு சாமானியமாய் முதல் மண்டிலமாகிய K மண்டிலத்திலேயே ஓடுகிறது. இந்த அணுவின் நிறை முழுவதும் கருவிலேயே தங்கியிருப்பதாகத் தெரிகிறது. கருவின் நிறையிலே $\frac{1}{1850}$ பகுதியே மின்னுருவின் நிறை இருக்கிறது. நீரக அணுவின் கரு நிறையுரு (Proton) எனப்படும்.

பரிதிய அணு (Helium atom) :—நீரகத்தை அடுத்துள்ளது பரிதியம். இதிலே K மண்டிலத்திலே இரண்டு மின்னுருக்கள் ஓடுகின்றன. எனவே, இதன் கருவின்மீது இரண்டு அலகு கொண்ட மிகைச்சுமை அதாவது $+ 2\,e$ மின்சுமை இருக்கவேண்டும். இந்தக் கருவின் நிறை நீரகக்கருவின் நிறையைப் போல நான்கு மடங்கு இருக்கிறது. (படம் 511). K மண்டிலம் இரண்டு மின்னுருக்களை மட்டுமே கொள்ளக்கூடும். இவ்வாறு மின்னுருக்கள் நிரம்பி இருப்பதே இந்த வாயு

செயலற்றதாய் இருப்பதற்குக் காரணம் என்று கூறப் படுகிறது.

கல்லிய அணு (Lithium atom):—இதில் கருவைச் சூழ்ந்து மூன்று மின்னுருக்கள் ஓடுகின்றன. எனவே, இதன் கரு + 3 e என்னும் சுமைகொண்டதாகும். (படம் 512). K மண்டிலம் இரண்டு மின்னுருக்களை மட்டுமே கொள்ளக்கூடுமாதலால், மிகுந்துள்ள ஒரு மின்னுரு அடுத்துள்ள L மண்டிலத்திலே நிற்க வேண்டியிருக்கிறது. இந்த மண்டிலம் 8 மின்னுருக்களைக் கொள்ளக்கூடியது. பின்னும் மேலே செல்லச் செல்ல அணுக்களின் அமைப்புச் சிக்கலாகிக்கொண்டே போகும்.

மிகை முனைக்கதிர்கள் (Positive rays):—குறைக் கதிர்க்குழாய்களிலே குறைத்துருவத்தினின்று வெளிப் படும் குறைக்கதிர்களே யன்றி, மிகைத்துருவத்தினின்று வெளிப்பட்டுக் குறைதுருவத்தைத் தாக்கும் பிரகாசமான மிகைக்கதிர்களும் உண்டென்பதை ஜெ. ஜெ. தாம்ஸன் என்னும் விஞ்ஞான அறிஞர் கண்டறிந்தார். குறைத்துருவத்திலே உள்ள தகட்டில், சிறிய துளைகளைச் செய்து வைத்தால், இக்கதிர்கள் அவற்றின் வழியே நுழைந்து, பின்புறமுள்ள கண்ணாடிச் சுவரிலே மோதுவதைக் காணலாம். இக்கதிர்களின் போக்கு, காந்தப்புலங்களாலும் மின்னிலைப்புலங்களாலும் பாதிக்கப்படுகின்றன. ஆனால் இக்கதிர்களின் வளைவு குறைக்கதிர்களின் வளைவைவிடக் குறைவாய் இருக்கிறது. மற்றும் குறைக்கதிர்கள் வளையும் திசைக்கு எதிர்த்திசையிலே இவை வளைகின்றன. எனவே இக் கதிர்களெல்லாம் மிகைமின்சுமையை ஏற்றுள்ள துகள்கள் என்பதும், அத்துகள்களின் நிறை குறைக்கதிர்களாகிய மின்னுருக்களைவிடப் பன்மடங்கு பெரிதென்பதும் விளங்குகின்றன. இவை, குழாயிலே அடைபட்

டுள்ள வாயு அணுக்களிலே மின்னுருக்களை இழந்து எஞ்சி நின்ற கருக்களின் தொகுதியாகும் என்று ஜெ. ஜெ. தாம்ஸன் எடுத்துரைத்தார். எனவே இக்குழாய் களிலே பலவேறு வாயுக்களை நிரப்பி, அவற்றிலேற்படும் மிகைக்கதிர்களை மின்னிலைப்புலத்தாலும் காந்தப்புலத் தாலும் வளைத்து, அணுக்களினது கருக்களின் நிறை யைக் காண்பது எளிதாயிற்று. ஜெ. ஜெ. 'தாம்ஸன்' கண்ட இந்த ஆராய்ச்சி முறையே 'மிகைக் கதிர்ப் பாகுபாடு' (Positive ray analysis) எனப்படும்.

'ஆஸ்டன்' (Aston) என்னும் அறிஞர் இந்த முறையைப் பின்னும் சீர்திருத்திச் சில சிறந்த முடிபு களைக் கண்டார். இரசாயன வியலிலே நாம் இதுவரை கண்டுள்ள அணுநிறைகள் என்பவை உண்மையான அணுக்களின் நிறையல்லவென்றும், அவை ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட பலவகையான நிறை கொண்ட பல்லாயிரம் அணுக்களின் பொதுமை நிறைகளேயாகும் என்றும் கண்டு எடுத்துரைத்தார். உதாரணமாக பாசிக அணுக் களை (Chlorine atoms) எடுத்துக்கொள்வோம். பலவேறு முறைகளினால் கண்ட அணுநிறைகள் இந்தத் தாதுவுக்கு 35·46 என்று காட்டுகின்றன. இது சரி யான நிறை அல்லவென்றும், பாசிக அணுக்களிலே இரண்டு வகையுண்டு என்றும், ஒருவகை அணுக்களின் நிறை 35, மற்றொரு வகை அணுக்களின் நிறை 37 என் றும், இவையிரண்டும் எப்போதும் முறையே 77%, 23% என்ற ரீதியிலே கலந்து இருப்பதாகவும், இதனால்தான் பாசிக அணுவின் நிறை 35·46 என்று கிடைப்பதாகவும் ஆஸ்டன் கண்டறிந்து காட்டினார். இவ்வாறே பல வேறு தாதுக்களின் அணுக்களிலும் ஒன்றுக்கு மேற் பட்ட பலவகைகள் இருப்பதாகத் தெரியவந்தது. இவற் றைச் சமனிகள் (Isotopes) என்பார்கள். சமனிகள் கொண்ட சில தாதுக்களின் விவரம் வருமாறு:—

தாது	அணு நிறை	சமனி எண்ணிக்கை	விவரம்	தாது	அணு நிறை	சமனி எண்ணிக்கை	விவரம்
கல்லியம்	6·940	2	7, 6	வெள்ளி	107·88	2	107, 109.
நியனம்	20·183	2	20, 22	வங்கம்	118·70	8	120, 118, 116, 119, 124, 117, 121, 122.
அவிரம்	24·320	3	24, 25, 26	ஜீனம்	30·20	9	129, 132, 131, 134, 136, 128, 130, 126, 124.
நாகம்	65·380	4	64, 66, 68, 70	ரசம்	200·61	7	196, 197, 202, 204, 198, 199, 200.
கிரிபிடம்	82·900	6	84, 86, 82, 83, 80, 78.	ஈயம்	207·20	7	208, 206, 207, 209.

இந்த அட்டவணையிலிருந்து சமனிகளின் அணு நிறைகளெல்லாம் முழு எண்கள் என்பதைக் காணலாம். ஒரே அணுவின் எல்லாச் சமனிகளும் ஒரே இரசாயன இயல்புடையன. எனவே, அவற்றை இரசாயன முறையினால் வேறுபடுத்துவது முடியாது. ஆஸ்டன் சமனிகளைப் பிரித்து ஆராய்ந்த கருவி நிறை-நிறமாலைக் கருவி (Mass-Spectrograph) எனப்படும். தற்காலத்தில் இந்த முறை 'பெயின் பிரிட்ஜ்' (Bain bridge) போன்ற அறிஞர்களால் பின்னும் சீர்திருத்தப்பட்டிருக்கிறது.

கதிரியக்கம் (Radioactivity) :—அணுக்கருவின் அமைப்பைப்பற்றிய நமது அறிவெல்லாம் பெரிதும் நாம் கதிரியக்கத்தின் மூலமாகப் பெற்றதேயாகும். 1896-ம் ஆண்டிலே 'ஹென்றி பெக்குவரெல்' என்னும் பிரஞ்சு அறிஞர் கதிரியக்கத்தைக் கண்டறிந்தார். சிறிதளவு உரேனியம் என்னும் தாதுவை ஒரு கருப்புக் காகிதத்தில் மடித்து ஒரு உருவப்படத்தட்டின்மீது வைத்துவிட்டுப்போக, அத்தட்டு பாதிக்கப்பட்டிருப்பதைக் கண்டார். எனவே, உரேனியத்திலிருந்து X கிரணங்களைப் போன்ற ஏதோ சில கிரணங்கள் வெளிப்படுகின்றன என்று ஊகித்தார். சின்னாட்கள் கழித்து 'க்யூரி' என்னும் அம்மையார் தோரியம் என்னும் தாதுவும், அது கலந்துள்ள கலப்புப் பொருள்களும் இவ்வாறே சில கிரணங்களை வெளியிடுவதைக் கண்டார். இத்தகைய நிகழ்ச்சி கதிரியக்கம் எனப்பட்டது. உரேனியம் வடித்தெடுக்கப்படும் ஒருவகைக் கனிப்பொருள் உரேனியத்தைவிட அதிகக் கதிரியக்க முடையதென 'க்யூரி' அம்மையார் கண்டார். எனவே, பல டன்கள் அக்கனிப்பொருளைக் கொண்டு, அதிலிருந்து மிகவும் சிரமப்பட்டு, சில மில்லி கிராம் கொண்ட ஒரு புது தாதுவை வடித்தெடுத்தார். உரேனியம், தோரியம்

என்னும் தாதுக்களைப் போல இப்புதுத் தாது பல்லாயிரம் மடங்கு கதிரியக்கம் கொண்டதாய் இருந்தது. எனவே, இது கதிரியம் (Radium) எனப் பெயரிடப்பட்டது.

கதிரியக்கக் கிரணங்களின் இயல்பு :—இக்கிரணங்களை மூன்று வகையாகப் பிரிக்கலாம்.

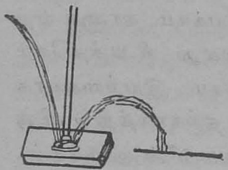
1. ஆல்பா (α) கிரணங்கள் :—இவை எளிதிலே காற்றுப்படலத்திஞல் அருந்தப்பட்டுவிடுகின்றன. இவை போகும்போது தம்மைச் சூழ்ந்துள்ள காற்றை இயனிகரணம் செய்துவிடுகின்றன. மற்றும் இவற்றின் போக்கு, காந்தப்புலங்களாலும் மின்னிலைப் புலங்களாலும் பாதிக்கப்படுகின்றன. இக்தக் கோட்டத்தை அளவிட்டு, இவை மிகைச்சுமையேறிய துகள்கள் என்பதும், நீரக அணுவைப்போல நான்கு மடங்கு நிறை கொண்டன வென்பதும் கண்டார். இவற்றின்மீதுள்ள மின்சுமை 2e. இந்தச் சான்றுகளையும் வேறு சில சான்றுகளையும் கொண்டு இவை பரிதிய அணுக்களிலே புறமண்டிலங்களிலோடும் இரண்டு மின்னுருக்களை யிழந்து எஞ்சி நின்ற கருக்கள் என்று காணப்பட்டிருக்கின்றன.

2. பீட்டா (β) கிரணங்கள் :—இவை குறைக்கதிர்களைப் போன்ற மின்னுருக்களின் அருவியேயாகுமென்று தெரிகிறது. இவை மிக உயர்ந்த கதியோடு வெளிப்படுகின்றன. இவை α-கிரணங்களைவிட ஊடுருவிச் செல்லும் சக்தி அதிகமாக வாய்ந்தவை. ஆனல் இவற்றின் இயனிப்படுத்தும் திறமை குறைவு.

3. காமா (γ) கிரணங்கள் :—இவை β கிரணங்களையும் ‘X’ கிரணங்களையும்விட அதிகமான ஊடுருவும் சக்தி வாய்ந்தவை. இவை காந்தப்புலங்களிஞலும் மின்னிலைப் புலங்களாலும் சற்றும் பாதிக்கப்படுவ

தில்லை. எனவே, இவை 'X' கிரணங்களைவிட உயர்ந்த அடுக்கமும் குறுகிய அலைநீளமும் கொண்ட மின்காந்த அலைகள் என்று கருதப்படுகின்றன.

இம்மூன்று வகைக் கிரணங்களையும் 'நுதர் போர்ட்' என்னும் பிரபல விஞ்ஞான அறிஞர் 1899-ம் ஆண்டிலே அமெரிக்காவிலுள்ள 'மாண்ட்ரீல்' என்னும் நகரிலே வகுத்துக்காட்டினர். இம்மூன்று வகைக் கிரணங்களும் கலந்து வெளிப்படும்போது, அவற்றின் திசைக்குச் செங்குறுக்காக நோக்கி நிற்கும்படி ஒரு காந்தச் சட்டத்தின் துருவமொன்றைப் பிடித்தால், அக்கிரணங்கள் வளைந்து செல்லும் வகை (படம் 513) இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. காந்தச்சட்டத்தின் வடதுருவம் படத்தை நோக்கி இருப்பதாகக் கொள்ளவேண்டும்.



படம் 513

γ கிரணங்கள் கோட்டமடையாது நேரே சென்றுவிட, α கிரணங்கள் சிறிதே இடதுபுறமாக வளைகின்றன. β கிரணங்களோ அதிகமாக வலதுபுறம் வளைகின்றன.

கதிரியக்கச் சிதைவு (Radioactive disintegration):—கதிரியக்கம், சூடு முதலிய பௌதிக நிலைகளினால் பாதிக்கப்படுவதில்லை. மற்றும் இரசாயன மாறுபாடுகளும் அதை பாதிப்பதில்லை. கதிரியக்கத்தின் அளவு அதை வெளியிடும் தாதுவின் அளவை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது. இதைக்கொண்டு கதிரியக்கத்தால் கனமான அணுக்கள் தாமாகச் சிதைந்து எளிய அணுக்களாக மாறுகின்றன என்று கருதப்படுகிறது. உரேனியம், தோரியம் போன்ற கனமான அணுக்கள் தமது கருவிலுள்ள α துகள்களை வெளியிட்டுச் சிதைவுறுகின்றன. உரேனியத்தின் அணுநிறை 238·5. ஒவ்வொரு

-துகள் அதிலிருந்து வெளிப்படும்போது அதன் அணு நிறை 4 அலகுகள் குறைந்துவிடுகின்றது. இத்தகைய மூன்று α-துகள்களை இழந்த பின்னர், அது 226 அணு நிறை கொண்ட கதிரியமாய் விடுகிறது. இவ்வாறே தோரியமும் சில α-துகள்களை இழந்து பின்னர் ஈயமாய் விடுகிறது. இவற்றையெல்லாம் கவனித்தால் ஒரு காலத்தில் தாதுக்களில் ஒன்றை மற்றொன்ருக மாற்றமுடியாதென்று கொண்ட கருத்துத் தவறானதென்று தோன்கிறது.

இதுவரை விவரித்துவந்த கதிரியக்கம் தானுக ஏற்படுவது. இதைத் தூண்டவோ அல்லது நிறுத்தவோ நம்மால் ஆவதில்லை. இக்கதிரியக்கம் இயற்கையாக நிகழ்வது. இந்நிகழ்ச்சியே யன்றி, தற்காலத்தில் விஞ்ஞானிகள் உயர்ந்த கதியோடு செல்லும் மின்னுருக்கள், α-துகள்கள் என்னும் குண்டுகளைக்கொண்டு, லேசான அணுக்களின் கருக்களை உடைத்துச் சிதைக்க முடியுமென்று கண்டிருக்கிருர்கள். எனவே, இந்தச் செயற்கை அணுச்சிதைவினுல் ஒரு தாதுவை நாம் விரும்பிய மற்ரொரு தாதுவாக மாற்றுவதும் வெகு விரைவிலே கைகூடிவரலாமெனத் தோன்றுகிறது. எனவே, இழிந்த உலோகங்களை மாற்றுயர்ந்த பொன்னுக்க முயன்ற பண்டைக் காலத்து இரசவாதிகளின் கனவு உண்மையாகும் காலம் நெருங்கிவிட்டது போலும். நிற்க, நாம் இதுவரை கண்ட உண்மைகளைக்கொண்டு அணுவை அமைக்க முயலுவோம்.

அணுவின் அமைப்பு :—அணுவின் கருவினைச் சூழ்ந்துள்ள புறமின்னுருக்களின் அமைப்பைப்பற்றி முன்பு கவனித்தோம். இப்போது அணுவினது கருவின் அமைப்பைச் சிறிது கவனிப்போம். அணுக் கருவிலிருந்து α-துகள்கள் கதிரியக்கத்திலே வெளிப்படு

வதால், அணுக்களின் கருவிலே α-துகள் இருப்பது தெளிவாகிறது. மற்றும் அவற்றோடு β-துகள்களாகிய மின்னுருக்களும் கருவில் இருந்தே தீரவேண்டும். எல்லா அணுக்களின் நிறையும் நீரக அணுவின் நிறையின் பலமடங்குகளாகவே இருப்பதால், சில அணுக்களிலே நீரக அணுவின் கருவாகிய நிறையுரு (Proton) இருக்கவேண்டியிருக்கிறது. இவற்றின் கூட்டு நிறையே அணுநிறையாகிறது. அவ்வாறே α-துகள்களும், β-துகள்களும், நீர்கக் கருக்களும் கூடிய இவற்றின் பயனிலைச் சுமையே கருவின் மிகைச்சுமையாகும். இதற்குச் சமமான சுமையையுடைய மின்னுருக்களே அணுவின் புறமண்டிலங்களிலே சுழன்றுவரும். எனவே, ஒவ்வொரு அணுவிலும் உள்ள புறமின்னுருக்களின் எண்ணிக்கையாகிய Z என்பது, அந்த அணுவின் கருவிலுள்ள பயனிலை மிகைச்சுமையைக் காட்டும். இந்த Z என்னும் இலக்கம் 'அணுஎண்' (Atomic number) எனப்படும். ஒவ்வொரு அணுவின் இரசாயன இயல்பும் அதன் புறமின்னுருக்களாலேயே நிர்ணயிக்கப்படுவதாக முன்பே கூறினோம். நிற்க, இம்மின்னுருக்களின் எண்ணிக்கை Z என்னும் அணு-எண்ணினாலே குறிக்கப்பட்டது. எனவே, இரசாயன இயல்புகளைப்பற்றியவரை ஒவ்வொரு தாதுவுக்கும் அதன் அணுநிறையைவிட 'அணு எண்ணே' அடிப்படையானதாகும்.

சமீப காலத்தில் நீரகக் கருவின் நிறையும் அதோடு அலிச்சுமையும் கொண்ட அலியுரு (neutron) என்னும் ஒரு துகள் புதிதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. மற்றும் மின்னுருவின் நிறையும் அதற்குச் சமமான மிகைச்சுமையும் கொண்ட 'மிகையுரு' (Positron) என்னும் துகளும் தோன்றுவதாகத் தெரிகிறது. இவற்றைப் பின்னும் ஆராய்ந்தால் அணுவின் அமைப்பைப்பற்றி நாம் கொண்டுள்ள கருத்துகள் சிறிது மாறுபாடடையக் கூடும்.

அணுஆற்றல் :—ஒரு கிராம் நிறைகொண்ட கதிரியம் தனது சிதைவினாலே மணிக்குச் சுமார் 100 கனலி வெப்ப ஆற்றலை வெளியிடுவதாகக் 'க்யூரி' அம்மையார் கணக்கிட்டிருக்கிறார். இதனால் ஒரு கிராம் கதிரியம் முற்றிலும் சிதைவதற்குள்ளே $2{\cdot}5 \times 10^9$ கனலி வெப்ப ஆற்றலை வெளியிடக்கூடுமென்று தெரிகிறது. இவ்வளவு ஏராளமான ஆற்றலும் அணுவின் கருவினுள்ளே பதுங்கிக்கிடக்கிறது. இத்தகைய ஆற்றல் எல்லா அணுக்களிலும் பதுங்கிக் கிடக்கவேண்டும். ஒரு கிராம் நிலக்கரியை எரிப்பதால் உண்டாகும் ஆற்றலைவிட, அதன் அணுக்களைச் சிதைப்பதாலுண்டாகும் ஆற்றல் பல கோடிமடங்கு பெரிதாகும். ஆனால் இந்த ஆற்றலை வெளிப்படுத்திப் பயன்படுத்துவது சாத்தியமல்லவென்று தோன்றுகிறது. ஆனால் அதுவும் விரைவிலே சாத்தியமாகவுங்கூடும்.

தொலைப்பேசி (Telephone), வானகத் தொலைப்பேசி (Wireless telephone) அல்லது ரேடியோ (Radio) :—

பேசுதலும் கேட்டலும் :—

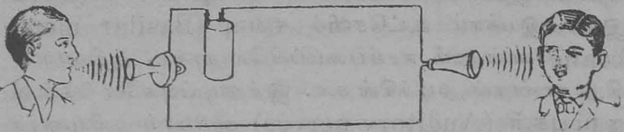
வெகு தொலைவிலுள்ள மக்கள் ஒருவரோடொருவர் பேசுவதற்குச் சாதனங்களாக இருப்பவை தொலைப்பேசி, ரேடியோ என்பன. இவற்றின் செயல்முறையை எடுத்துக்கூறுமுன் சமீபத்திலுள்ள மக்கள் ஒருவரோடொருவர் பேசுவது எவ்வாறு சாத்தியமாகிறது என்பதைக் கவனிப்போம். ஒருவன் பேசும்போது அவன் தொண்டையிலுள்ள ஒலி நாண்கள் (Vocal cords) துடிக்கின்றன. இத்துடிப்பினால் அருகிலுள்ள காற்றிலே துடிப்புகள் ஏற்பட்டு ஒலி அலைகள் நாலா பக்கங்களிலும் பரவிச் செல்லுகின்றன. இவ்வாறு செல்லும் அலைகள் கேட்போனுடைய காதினுள்ளே நுழைந்து,

அங்குள்ள, விதானத்தின்மீது மோதி, அதையும் தம்மைப் போலத் துடிக்கச் செய்கின்றன. அவ்விதானத்தோடு இணைக்கப்பப்பட்ட எலும்புகளின் வழியாக இந்த இயக்கம் உட்செவிச் சவ்வு (Basilar membrane) என்னும் நரம்பமைப்பிலே தாக்க, அதிலுள்ள சிறு நாண்கள் துடிக்கின்றன. இத்துடிப்புகளே கேள்வி நரம்புகள் (Auditory nerves) மூலமாய் ஒலியுணர்ச்சியாக மூளைக்கு அறிவிக்கப்படுகின்றன. மனிதனுடைய காது கேட்கக்கூடிய அலையடுக்கத்திற்கு உச்ச நிலை நீசநிலை வரம்புகளுண்டு. அவை ஏறக்குறைய செகண்டுக்கு 40,000-த்திலிருந்து செகண்டுக்கு 32 வரை என்று கொள்ளலாம். இந்த எல்லைக்கு வெளிப்பட்ட அடுக்கம் கொண்ட ஒலியலைகளை நமது காது கேட்க முடிவதில்லை. இந்த ஒலி அலைகள் கிளம்பிய இடத்திலிருந்து நெடுந்தூரம் சென்றுவிட்டால், அவற்றின் வீச்சு குறைந்து நசித்துவிடுகிறது. நெடுந்தூரத்திலேற்படும் ஒலியைக் கேட்க முடியாமைக்கு இதுவே காரணம்.

கம்பித் தொலைப்பேசி (Wire-telephone) ;— வானகத் தொலைப் பேசியும் கம்பித் தொலைப் பேசியும் ஒரே தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளன. ஓரிடத்திலேற்படும் துடிப்புகள் ஒரு யானத்தின் வழியாக மற்றோரிடத்திற்குக் கொண்டு செல்லப்படுகின்றன. வானகத்தொலைப்பேசியிலே விசும்புதுடிப்பைக்கொண்டு செல்லும் யானமாக நின்றது. கம்பித் தொலைப்பேசியிலோ கம்பியே இத்தகைய யானமாகத் தொழிற்படுகிறது. இதன் விவரத்தை இனிக் காண்போம். (படம் 514).

ஒலியைச் செலுத்துகின்றவன் ஒரு புனல்வாயினருகே நின்று பேசுகிறான். புனலின் அடியிலேயுள்ள

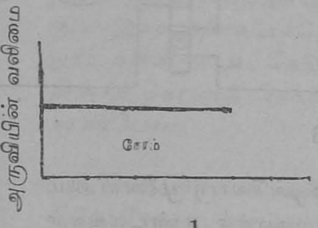
தொரு அலுமினிய விதானம் துடிக்கிறது. இந்த அலுமினியத் தட்டோடு ஒரு கரித்தட்டு இணைக்கப்பட்டுள்

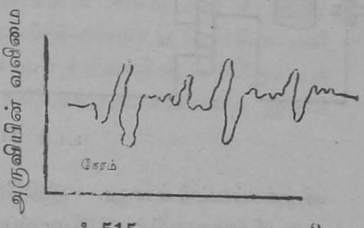


படம் 514

ளது. இதற்குப் பின்னால் இணையான மற்றொரு கரித் தட்டு இருக்கிறது. இவ்விரண்டு கரித்தட்டுகளினிடையே கரித்தூள் நிரப்பப்பட்டிருக்கிறது. இவ்விரண்டு தட்டுகளின் குறுக்கே ஒரு சீரான மின்சார அருவி ஓடிக்கொண்டே இருக்கிறது. அலுமினியத்தட்டு துடிக்கும்போது அதனோடு சேர்க்கப்பட்ட முதல் கரித் தட்டும் முன்னும் பின்னுமாகத் துடிக்கிறது. இதனால் அடைபட்டுள்ள கரித்தூளிலே அடர்த்தி தளர்த்திகள் மாறி மாறி நிகழ்கின்றன. கரித்தூளுக்குச் சிறப்பான தொரு இயல்பு உண்டு. அதாவது கரித்தூளின் மின்னியல் தகைவு அதன் அடர்த்திக்குத் தக்கவாறு மாறுதலடையும். எனவே, கரித்தூளில் ஏற்படும் அடர்த்தி தளர்த்திகளால் அதன் வழியே செல்லும் அருவியின் அளவும் மாறுதலடையும். இதனால் புனல்வாயினருகே ஒருவன் பேசிக்கொண்டிருந்தால், அப்பேச்சிலுள்ள ஒலி அலைகளுக்குகந்தவாறு, கரித்தூளின்வழியே செல்லும் சீரான அருவியின் வலிமையும் மாறுதலடையும். (படம் 515)ஐப் பார்க்கவும். முதல் படம் சீராக தொலைப்பேசி மண்டலத்தில் ஓடும் அருவியைக் காட்டுகிறது. இரண்டாவது படம் தொலைப்பேசியின் முன்னால் ஒருவன் பேசும்போது ஏற்படக்கூடிய அருவியின் மாறுதலைக் காட்டுகிறது. இந்த அலைகள் அவன் பேசும்போதேற்படும் ஒலி அலைகளின் அமைப்பையே கொண்

டிருக்கும். இவ்வாறு துடிக்கும் அருவி ஒலிவாங்கும் கருவியைச் சென்றடைகிறது. ஒலிவாங்கும் கருவியிலே ஒரு மின்காந்தம் இருக்கிறது. இதன்மீது அருவியைக் கொண்டுவரும் கம்பி சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. இதன் துருவத்திற்கு முன்னால் ஒரு விதானம் நிறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. கம்பியில் ஓடிவரும் அருவியின் வலிமை மாறுவதற்குகந்தபடி, மின்காந்தத்தின் வலிமையும் மாறுதலடையும். இக்காந்தத்தின் வலிமைக்குகந்தவாறு அது விதானத்தைக் கவரும் சக்தியும் மாறுதலடையும். எனவே, கம்பியில் ஓடிவரும் அருவியின்வலிமை படத்திலே கண்டவாறு மாறும்போது விதானமும் முன்னும் பின்னுமாகத் துடித்து ஒலியை வெளிப்படுத்தும்.



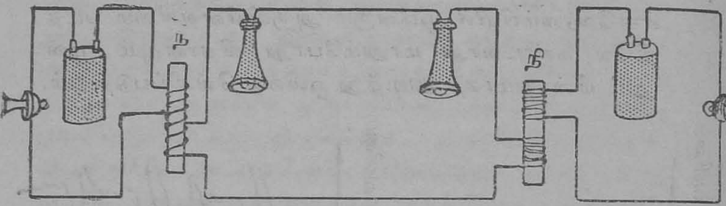


1 படம் 515 2

இதை அங்குள்ளவன் கேட்கிறான். இதுவே மிக எளிதான தொலைப்பேசியின் செயல்முறையாகும். இதிலே நாம் கவனிக்கவேண்டிய அம்சம் ஒன்றிருக்கிறது. அதாவது சீரானதொரு மின்னருவியை நாம் பேசுகிற ஒலிக்கேற்றவாறு திருத்துகிறோம். இவ்வாறு திருந்திய அருவியே ஒலிவாங்கியினிடத்தே செல்லுகிறது. அங்கே சீரான அருவியை ஒலி வாங்கிப் பதிவு செய்துகொள்ளாமல், அதிலேற்படும் மாறுதலை அல்லது திருத்தத்தையே அது பதிவுசெய்துகொள்கிறது. இவ்வாறு சீரான அருவியை ஒலிக்குகந்தவாறு திருத்திச் செலுத்துவதும் பின்னர் ஒலியை ஏற்றுக்கொள்ளும் இடத்திலே, சீரான அருவியின் ஒழுக்கைக் கவனியாமல் அதிலேற்படும்

மாறுதலை அதாவது திருத்தத்தைப் பதிவுசெய்து கொள்ளுதலும், எல்லா தொலைப்பேசிகளுக்கும் பொதுவான அடிப்படையான தத்துவங்களாகும். வானகத் தொலைப்பேசியிலும் இதே தத்துவங்கள் கையாளப் படுவதைப் பின்னர்க் காணலாம்.

சாமானியமாய்ப் பெரும்பாலும் கையாளப்படும் தொலைப்பேசியின் அமைப்பு ஒன்று (படம் 516)இல்



படம் 516

விளக்கப்பட்டுள்ளது. இதிலே ஒவ்வொரு முனையிலும் ஒரு மின்கலஅடுக்குக் கொண்ட முடிந்த மண்டலங்கள் இருக்கின்றன. இவையிடையிலே நி, நி என்ற இரண்டு நிலைப்பு-மாற்றகங்கள் (Transformers) மூன்றுவது மண்டலத்தால் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. நிலைப்பு-மாற்றகம் என்பது ஒரு தேனிரும்பு உள்ளீட்டின்மீது இரண்டு மண்டலங்களுக்குரிய கம்பிகள் சுற்றப்பட்டிருக்குமொரு கருவியாகும். ஒலி செலுத்தும் மண்டலத்திலேற்பட்ட அருவித்துடிப்புகள் அல்லது திருத்தங்கள் இவைகளை மட்டும் இடையிலுள்ள மண்டலம் ஏற்று, ஒலி வாங்கும் மண்டலத்திலே அத்தகைய திருத்தங்களை ஊட்டுகிறது. எனவே, இந்த அமைப்பிலே சீரான அருவி முற்றிலும் சுழன்று வருவதில்லை. அதற்குப் பதிலாக ஒலியினாலேற்பட்ட திருத்தங்கள் மட்டுமே செலுத்தப்படுகின்

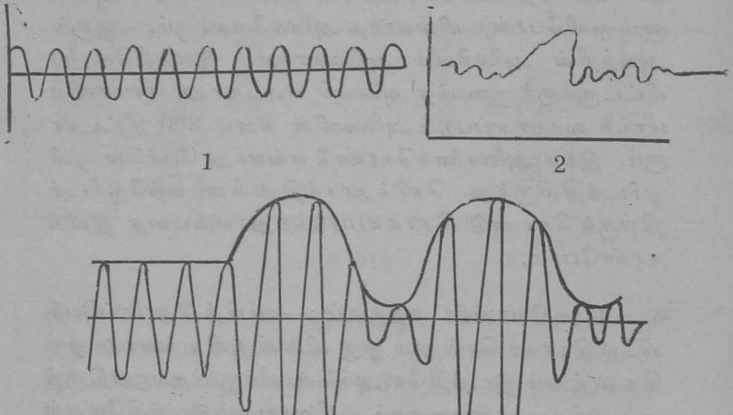
றன. இதன் இருமுனைகளினின்றும் பேசுவதும் கேட்பதும் கூடும்.

ஒளி அலைகளும் வானக அலைகளும்:—ஒளி, மின்காந்த அலைத்தொகுதியே யாகுமென்று முன்பே கூறினோம். இந்த அலைகளின் நீளம் மிகவும் குறுகியது. சாமானியமாய்க் கண்ணுக்கு புலனாகும் ஒளியின் அலை நீளம், சென்டிமீட்டரிலே லக்ஷத்தில் நான்கு பங்காகும். வானகத் தொலைப்பேசிகளிலே கையாளப்படும் அலைகளும் ஒளிபோன்ற மின்காந்த அலைகளேயாகும். ஆனால் அவற்றின் அலைநீளம் அதிகமாகும். இவற்றிலே 50 மீட்டருக்குக் குறைந்த அலைகள் கிடையாது. சாமானியமாய்க் கையாளப்படும் அலைகளின் நீளம் 300 மீட்டராகும். இந்த அலைகளைக்கொண்டு எவ்வாறு பேச்சின் ஒலி ஓரிடத்திலிருந்து நெடுந்தூரத்திலுள்ள மற்றோரிடத்திற்குக் கொண்டு சொல்லப்படுகிறது என்பதை இனிக் காண்போம்.

ரேடியோவின் தத்துவம்:—கம்பித் தொலைப்பேசியிலே சீராகச் செல்லும் ஒரு மின்னருவி எவ்வாறு ஒலி செலுத்தும் இடத்திலே அவ்வொலிக்குகந்தவாறு திருத்தப்படுகிறது என்பதையும், ஒலி வாங்கும் இடத்திலே எவ்வாறு இந்தத் திருத்தங்களைக் கண்டுபிடித்து அவற்றை மீண்டும் ஒலி-அலைகளாக மாற்றப்படுகிறது என்பதையும் கண்டோம். ஏறக்குறைய இதே வகையில்தான் வானக தொலைப்பேசி அல்லது ரேடியோவிலும் செய்திகள் கொண்டு செல்லப்படுகின்றன. கம்பி தொலைப்பேசியிலே கையாளப்படும் சீரான அருவிக்குப் பதிலாக, இங்கே உயர்ந்த அடுக்கம் கொண்ட சீரான மின்காந்த அலைகள் கையாளப்படுகின்றன. (படம் 517 (1))இலே இத்தகைய சீரான அலைத்தொடர் ஒன்று காட்டப்பட்டுள்ளது. இதைச் சீரான அலைத்தொடரென்று கூறும்

போது இதன் வீச்சு மாறாதிருப்பதையே குறிப்பிடுகிறோம்.

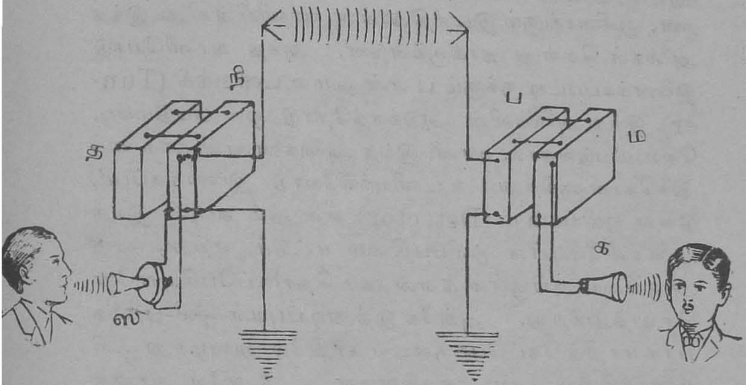
இந்த அலையானது ஒலித்துடிப்பைக் கொண்டுசெல்லும்போது, அதற்குகந்தவாறு இந்த அலை திருத்தப்படுகிறது. அதாவது இந்த அலையின் வீச்சுகள் ஒலி அலையின் வடிவத்தைக் கொள்ளுமாறு செய்யப்படுகிறது. உதாரணமாக இரண்டாவது படத்திலே (படம் 517 (2)) கண்டுள்ள ஒலித்துடிப்பை இதன்மீது சுமத்தவேண்டி



படம் **517**

யிருக்கிறதென்று கொள்வோம். ஒலித்துடிப்புகளின் அடுக்கம் வானக அலைகளின் அடுக்கத்தைக் காட்டிலும் மிகவும் குறைவானது என்பதையும் நினைவில் கொள்ள வேண்டும். மூன்றாவது படத்திலே (படம் 517 (3)) வானக அலைகளின்மீது ஒலி அலைகள் சுமத்தப்பட்டபோது ஏற்படும் நிலையை விளக்கிக் காட்டப்பட்டுள்ளது. வானக அலைகளிலுள்ள அகடுகளை ஒன்றுசேர்க்க, வானக அலை

யாகிய ஒலித்துடிப்புக் கிடைப்பதைக் காணலாம். இவ்வாறு திருத்தப்பட்ட வானக அலைகள் ஆகாயத்திலே அனுப்பப்படுகின்றன. ஒலி வாங்கும் இடத்திலே இத்துடிப்புகள் மீண்டும் ஒலித்துடிப்புகளாக மாற்றப்படுகின்றன. இதுவே வானக தொலைப்பேசியின் அடிப்படையான தத்துவம். இனி எவ்வாறு (1) வானக அலைகள் உண்டாக்கப்படுகின்றன (2) அவை எவ்வாறு திருத்தி அனுப்பப்படுகின்றன (3) அவை எவ்வாறு ஒலி வாங்கும் இடத்திலே ஏற்கப்படுகின்றன (4) மீண்டும் அவை ஒலித்துடிப்புகளாக எவ்வாறு மாற்றப்படுகின்றன என்பவற்றைக் கவனிப்போம்.



படம் 518

சேய்தி அனுப்புதலும் அதை ஏற்றுக்கோள்ளுதலும் :—முன்னே கூறிய செயல் முறைகளை விவரமாக ஆராயுமுன்னர், வானக-தொலைப்பேசியின் செயல் முறையை மற்றுமொரு முறை படத்தால் விளக்க முயல்வோம். (படம் 518). ஒருவன் ஸ என்னும் ஒலிவாயினருகே பேசுகிறான். அவன் வாயிலிருந்து புறப்படும் ஒலி அலைகள் விதானத்தைத் தாக்கி மின்னியல் துடிப்புகளாக மாறுகின்றன. நிற்க, துடிப்பகம் த (Oscil-

lator) என்னும் கருவியிலிருந்து வானக - அடுக்கம் கொண்ட மின்காந்தத் துடிப்புகள் திருத்தகம் நி (Modulator) என்னும் கருவியை அடைகின்றன. இங்கே இவ்வுயர் அடுக்கத் துடிப்புகளின்மீது, மைக்கிலிருந்து வரும் ஒலித்துடிப்புகள் ஏற்றப்படுகின்றன. எனவே, திருத்தகத்திலிருந்து வெளிப்படும் மின்காந்த அலைகள் வானக-அடுக்கங்களைக் கொண்டிருப்பினும், அவற்றின்மீது ஒலித்துடிப்புகளின் அமைப்புப் பதிவு செய்யப்பட்டிருக்கும். நிற்க, இந்த மின்காந்த-அலைகள் வானி (Aerial) என்னும் கம்பி வழியாக மேலேறி, ஆகாயத்திலே வெளிப்பட்டு நாலாபக்கமும் பரவுகின்றன. ஒலிவாங்கும் இடத்திலுள்ள வானியின்மீது இந்த அலைகள் சென்று தாக்குகின்றன. அந்த வானியோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும் ப என்னும் உடனியக்கி (Tuner), இந்த அலைகளின் அடுக்கத்தோடு ஒன்றுபடும்படி செய்யப்படுவதால், வானி இந்த அலைகளை எளிதாக ஏற்றுக்கொள்ளுகிறது. உடனியக்கியோடு இணைக்கப்பட்டுள்ள ஒலியகம் ம (Detector) என்னும் கருவி இந்த அலைகளிலேயுள்ள ஒலிப்பதிவை மட்டும் ஏற்று, ஒரு அருவியை அங்குள்ள க என்னும் தொலைப்பேசியுள்ளே செலுத்துகிறது. அங்கே இத்துடிப்புகள் ஒலி-அலைகளாக மாறிக் கேட்போருடைய காதிலே நுழைந்து ஒலியுணர்ச்சியை உண்டாக்குகின்றன. இதுவே வானக தொலைப்பேசி அல்லது ரேடியோவின் செயல் முறையாகும். இனி இதில் தொழிற்பட்ட ஒவ்வொரு பகுதியையும் விளக்குவோம்.

துடிப்பகம் :—உயர்ந்த அடுக்கங்கள் கொண்ட வானக-அலைகளை அதாவது மின்-காந்த அலைகளை உண்டாக்குவதற்கான சாதனம் இது. இதிலே மூன்றுவகைகள் உண்டு. 1. மின்னுருக்குழாய் (Electron tube). 2. நெறிமாற்றி (Alternator). 3. பிறை (Arc). இவற்

றிலே மின்னூருக்குழாய்களே பெரும்பாலும் கையாளப் படுகின்றன. இக்குழாய்களினுல் (a) உயர்ந்த அடுக்கம் கொண்ட நெறிமாற்று அருவிகளை உண்டாக்குதலும் (b) பலவீனமான அருவிகளைப் பெருக்குதலும் சாத்தியம். (2) நெறிமாற்றி என்பது சாமானிய மாறுமின்னருவிகளை உண்டாக்கும் சாதனங்களைப் போன்றதேயாகும். ஆனுல் உயர்ந்த அடுக்கங்களை உண்டாக்குமாறு சிறப்பான முறையிலே இவை அமைக்கப் பெறும். இதனுல் மிக உயர்ந்த அடுக்கங்களைப் பெறமுடியும். (3) பிறை:— இதுவும் தொடர்ந்த மாறுமின்னருவிகளை உண்டாக்குமொரு சாதனமேயாகும். ஆனுல் இதைக் கொண்டு உயர்ந்த அடுக்கங்களைப் பெறுவது சாத்தியமில்லை.

திருத்தகம்:—இங்கே முன்னே கூறிய உயர்ந்த அடுக்க-மின்காந்த அலைகளின் மீது, மைக்கிலிருந்து வரும் ஒலி அலைகள் பதிவு செய்யப்படுகின்றன. உயர்ந்த-அடுக்கமும் நிறைந்த ஆற்றலும் கொண்ட மின்காந்த அலைகளை, தாழ்ந்த அடுக்கமும் குறைந்த ஆற்றலும் கொண்ட ஒலி அலைகள் கட்டுப்படுத்தித் திருத்தவேண்டியிருக்கிறது. ஒலி-அலைகளின் ஆற்றல் பல்லாயிரம் மடங்கு பெருக்கப்பட்டாலொழிய இது சாத்தியமில்லை. எனவே, இங்கே ஒலி அலைகள் மின்னூருக்குழாயின் உதவியைக்கொண்டு பல்லாயிரம் மடங்கு பெருக்கப்படுகின்றன. மின்னூருக் குழாய்கள் இவ்வாறு பலவீனமான அருவிகளைப் பெருக்கக்கூடியதென்று முன்பே கூறினேம். ஆற்றல் பெருக்கப்பட்ட ஒலிஅலைகள் மின்காந்த அலைகளின்மீது பதிவு செய்யப்படுகின்றன. இவ்வாறு திருத்தப்பட்ட அலைகள் வானியைச் சென்றடைந்து நாலா பக்கங்களிலும் பரவுகின்றன.

வானி:—இவை பல வடிவங்களிலே செய்யப்படுகின்றன. நீண்ட கம்பிகள் செங்குத்தாக நிறுத்தப்படுவ

உண்டு. இது மிக எளியதொரு வகை. நீண்ட கம்பிகள் உயர்ந்த இடங்களிலே படுக்கைவாக்கிலே கட்டப்பட்டிருப்பதுமுண்டு. இவற்றையன்றி, கம்பிகளின் நுனியிலே வளையங்கள் பொருத்தப்பட்டிருப்பதுமுண்டு. இவ்வாறு வளையங்கள் கொண்ட வானிகளைக் கொண்டு வானக-அலைப்பரவலை ஒருமுகப்படுத்துவதும் ஒரு திசையிலிருந்து வரும் அலைகளை மட்டும் ஏற்றுக் கொள்ளுவதும் சாத்தியமாகும்.

ஒலி வாங்கும் நிலையத்திலேயுள்ள வானியின்மீது மோதும் வானக-அலைகளின் அடுக்கமும் இந்த உடனியக்கியின் இயற்கை அடுக்கமும் ஒன்றுபடவேண்டும். ஒரு மண்டலத்தின் இயற்கை-அடுக்கம் $n = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lc}}$ என்ற வாய்பாட்டினுல் பெறப்படும். இதில் L என்பது மண்டலத்தின் ஊட்டப்பான்மை (Inductance), c என்பது அதன் 'கொள்திறன்' (Capacity) ஆகும். வானியும் பிணைப்புக் கம்பிகளும் உடனியக்கியும் கூடிய மண்டலத்தின் இயற்கை அடுக்கம், வானியில் மோதும் வானக அலைகளின் அடுக்கத்தோடு ஒன்றுபடவேண்டும். இந்த மண்டலத்தின் ஊட்டப் பான்மையைத் தக்கவாறு சரிப்படுத்தி உடனியக்க முண்டாக்கப்படும். மாறியல் கொள்திறன் ஒன்றைக்கொண்டு அதைச் சரிப்படுத்தி உடனியக்க முண்டாகுதலும் உண்டு.

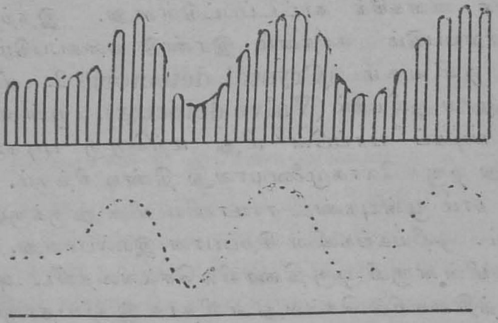
நிற்க, உயர்ந்த அடுக்கங்கள் கொண்ட வானக-அலைகள் ஒரு தொலைப்பேசியின் விதானத்தின் மீது மோதினல், அந்த விதானம் அந்த உயர்ந்த அடுக்கத்தோடு துடிக்கக்கூடாமல் நின்றுவிடும். அவ்வாறு துடித்தாலும் இந்த உயர்ந்த அடுக்கம் கொண்ட ஒலியை நாம் கேட்க முடியாது. எனவே, இந்த உயர் அடுக்க அலைகளைவிட்டு, அவற்றின் மீது பதிந்துள்ள

ஒலித்துடிப்பை மட்டும் கொள்வதற்காகவே ஒலியகங்கள் கையாளப்படுகின்றன.

ஒலியகம் :—வானிலிருந்து இறங்கிவந்த வானக அலைகளின் மீதுள்ள ஒலிப்பதிவு மட்டும் இங்கே எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. ஒலியகத்தினுள்ளே நுழையும் அலைக்கும், அதிலிருந்து வெளிப்பட்டுவரும் அலைகளுக்குமுள்ள வேற்றுமை, அடுத்துள்ள படத்திலே நன்றாக விளக்கிக் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதற்காகக் கையாளப்படும் சாதனம் இரண்டு வகைப்படும். 1. படிக ஒலியகம் (Crystal detector) 2. மின்னுருக்குழாய் ஒலியகம் (Valve detector). முன்னதிலே ஒரு படிகப் பரப்பின் மீது மற்றொரு படிகப்பரப்பாவது ஒரு உலோகமுனையாவது தீண்டி நிற்கும். பின்னது நாம் முன்புகண்ட சாமானிய மின்னுருக்குழாயேயாகும். ஒலியகங்களின் சிறப்பான இயல்பாவது, அவற்றிலே மின்னருவி ஒரு திசையில் செல்வதைவிட அதற்கு எதிர்த்திசையில் செல்வது எளிதாக இருப்பதாகும்.

ஒரு படிக ஒலியகத்தின் வழியாக ஒரு அலை செல்வதாகக் கொள்வோம். இந்தத் திசையிலே அலை பாய்வது எளிது. ஆனால் மீண்டு வருவதோ எளிதன்று. எனவே, அலை மீண்டு வருவதற்குமுன் மற்றொரு அலை மேலே சென்று மோதும். இவ்வாறே மேலும் மேலும் அலைகள் மோதுவதால், ஒலியகத்தைத் தாண்டியபின்னர் ஓட்டம் ஒரு முகமாகவே இருக்கும். ஆனால் இந்த அலைகளின் வீச்சு குறைந்தால் இந்த ஓட்டத்தின் வலிமையும் குறையும். மீண்டும் அலைகளின் வீச்சு அதிகரிக்கும்போது இந்த ஓட்டமும் அதிகரிக்கும். எனவே, இந்த அலைகளின் வீச்சு அதிகரிப்பதற்கும் குறைவதற்கும் ஏற்ப ஒலியகத்தைத் தாண்டிச்செல்லும் அருவியின் வலிமையும் அதிகரித்துக் குறைவடையும். இதுவே

இந்த அலைகளின் மீது பதிவு செய்யப்பட்டிருக்கும் ஒலி அலைகளின் அமைப்பாகும். எனவே, ஒலியகத்தைத் தாண்டிச்செல்லும் அருவி வானகத்துடிப்பைக் கை விட்டு ஒலித்துடிப்பை மட்டுமே கொண்டிருக்கும். (படத்தை(519) பார்க்கவும்). இந்த அருவி தொலைப் பேசியினுள்ளே புகுந்து ஒலியை வெளியிடுகிறது. இவ்வாறு வெளிப்படும் ஒலியை நாம் கேட்டு மகிழ்கிறோம்.



படம் 519

இதுவரை நாம் கண்டதெல்லாம் சில அடிப்படையான தத்துவங்களும் பொதுவான அம்சங்களுமேயாகும். தொழில் துறைக்குரிய பல குறைவுகள் இந்தத் துறையிலே மலிந்துவிட்டன. அவற்றையெல்லாம் எடுத்துரைப்பதற்கு இப்புத்தகம் இடம் தராது. மற்றும் வானக-அலைகளை அனுப்புவதிலும் ஏற்றுக்கொள்வதிலும் பல தொல்லைகள் உண்டாகின்றன. இவற்றைக் கொண்டு அவ்வப்போது நீக்குவதற்குரிய உபாயங்களைச் செய்து வருகிறார்கள். விரைவாக முன்னேறிச் செல்லும் இத்தகையதொரு துறையிலே கணக்கீடுகளும் மலிந்து வருகின்றன. இவற்றையெல்லாம் தொழில் முறையை வெளியிடும் புத்தகங்களே வெளியிடக்கூடும்.

மின்காந்த அலைகளும் நிறமாலையும் :—ஒளி என்பது விசும்பிலேற்படும் மின்காந்த அலைகளே யென்றும் வெப்பக்கதிர்களும் இத்தகைய அலைகளேயென்றும் கூறினோம். இப்போது மின்காந்த அலைகள் எல்லாவற்றையும் பற்றிச் சிறிது கூறுவோம்.

மின்காந்த அலைகளின் நீளம் சென்டிமீட்டரிலே பல்லாயிரத்திலொரு பங்கிலிருந்து ஆரம்பித்து, பல நூறு மீட்டர்கள் வரை இருப்பதுண்டு. ஆனால் இவற்றின் பெரும்பகுதி நமது கண்ணுக்குப் புலப்படுவதில்லை. ஒளி நிறமாலையைக் கவனித்தால், ஊதாமுதல் சிவப்பு வரையில் நிறங்கொண்ட ஒளிமட்டுமே நமது கண்ணுக்குப் புலப்படும். இதனால் இவற்றுக்கு வெளிப்பட்ட மின்காந்த அலைகள் இல்லையென்று சொல்லமுடியாது. நமது கண்ணுக்குப் புலப்படாவிட்டாலும் அவை இருக்கவே செய்கின்றன.

கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஒளிக்கிரணங்கள் :—கண்ணுக்குப் புலனாகும் ஊதாக் கிரணங்களின் அலை நீளத்தின் எல்லை 0·000040 செ. மீ. சிவப்புக் கிரணங்களின் அலை நீளத்தின் எல்லை 0·000076 செ. மீ. இத்தகைய சிறிய பின்னங்களை எடுத்துரைப்பதும் எழுதுவதும் தொல்லையாக இருக்குமாகையால், ஒளிக்கிரணங்களின் அலை நீளங்களை விசேஷமான அலகுகளிலே எடுத்துரைப்பது வழக்கம். இவற்றில் ஒன்று 'ஆங்ஸ்ட்ராம்' அலகு எனப்படும். இதன் அளவு 10^{-8} செ. மீ. அதாவது ஒரு சென்டிமீட்டரில் பத்துகோடியிலே ஒரு பங்கு ஆகும். இதை A என்று குறிப்பது வழக்கம். 'மைக்ரான்' எனப்படும் மற்றொரு அலகு 10^{-4} செ. மீ. அதாவது சென்டி மீட்டரில் பதினாயிரத்திலொரு பங்கு ஆகும். இதை μ என்று குறிப்பது வழக்கம். மற்றொன்று 'மிலி மீட்டர் நுட்பம் (millimicron) எனப்படும். இதன் அளவு 10^{-7} செ. மீ. அதாவது சென்டி

மீட்டரில் கோடியிலொரு பங்காகும். இதை μ μ என்று குறிப்பது வழக்கம். இவற்றைக் கொண்டு உவர ஒளியின் பொதுமை அலைநீளத்தைக் குறிக்கவேண்டுமானால் 5893 A. என்றோ அல்லது 589·3 μ μ என்றோ அல்லது 0·5893 μ என்றோ கூறவேண்டும். இதன் அளவு சாமானிய அலகிலே 0·00005893 செ. மீ. ஆகும்.

அகச்சிவப்புக்கிரணங்கள் (Infra-red rays):—சௌர-நிறமாலையிலே சிவப்புக் கறைக்கும் ஊதாக் கறைக்கும் வெளியிலே சில கிரணங்கள் விழுகின்றன. இவை முறையே அகச்சிவப்புக் கிரணங்கள் என்றும் 'புறஊதாக் கிரணங்கள் (Ultra-violet rays)' என்றும் பெயர் பெறும்.

ஸர் 'வில்லியம் ஹெர்ஷல்' என்னும் வானவியல் அறிஞர் 1800-ம் ஆண்டிலே சிவப்புக்கறைக்கு வெளியே வெப்பக்கிரணங்கள் இருப்பதைக் கண்டுரைத்தார். இந்தக் கிரணங்களின் அலை நீளங்கள் $8{\cdot}5 \times 10^{-5}$ செ. மீட்டரிலிருந்து 1×10^{-2} செ. மீ. வரை இருக்கின்றன. இக்கிரணங்களெல்லாம் அகச்சிவப்புக் கிரணங்கள் எனப்படும்.

வானக அலைகள் :—இவை வானகத்தந்திகளிலும் ஒலினிகளிலும் கையாளப்படுகின்றன. இவற்றை ரேடியோ அலைகள் என்றும் சொல்வதுண்டு. இவற்றின் அலைநீளங்கள் 1×10^{-2} செ. மீட்டரில் ஆரம்பித்து 15×10^{14} செ. மீ. அல்லது 15×10^{9} கிலோமீட்டர் வரை இருக்கும்.

இவற்றைவிட நீளமான அலைகளும் உள. அவை மிகத்தாழ்ந்த அடுக்கத்துடிப்புக்கொண்ட பொருள்களிலிருந்து வெளிப்படுகின்றன. இவை 15×19^{9} கிலோமீட்டரிலிருந்து துவக்கி 25×10^{11} கிலோ மீட்டர் வரை நீளங்கொண்டனவாகும்.

புற ஊதா கிரணங்கள் :—சௌரநிறமாலையிலே ஊதாக் கறைக்கு வெளியே இக்கிரணங்கள் தோன்று கின்றன. இவை உருவப்படத் தட்டுகளை எளிதிலே பாதிக்கக்கூடியன.

ரிட்டர் (J. W. Ritter) என்பார் இவற்றை 1801-ம் ஆண்டிலே கண்டார். இவற்றின் அலை நீளங்கள் $3 \cdot 9 \times 10^{-5}$ செ. மீட்டர் அல்லது 3900 A-யிலிருந்து 300 A வரையிலுள்ளன.

X கிரணங்கள் :— குறைக்கதிர்க் குழாய்களிலே குறைக்கதிர் அருவி ஒரு உலோகத் தடைமீது மோதும் போது 'X' கதிர்கள் வெளிப்படுகின்றன. இவற்றின் இயல்புகளை முன்னால் கண்டோம்.

காமாக் (γ) கதிர்கள் :— X— கிரணங்களைவிடக் குறைவான அலை நீளமும் மிகுந்த ஆற்றலும் வாய்ந் தவை காமாக் கதிர்களாகும். அணுக்களின் கருவி லிருந்து இவை வெளிப்படுகின்றன. கதிரியக்கவியல்பு வாய்ந்த தாதுக்கள் தாமாகவே இக்கதிர்களை வெளியிடு கின்றன. இவற்றின் அலை நீளங்கள் 0·3 A — 0·1 A-க் கும் இடைப்பட்டவை.

'விண்ணியல் கதிர்கள் (Cosmic rays) :-காமாக் கதிர்களைவிடக் குறைவான நீளமும் உயர்ந்த ஆற்றலும் வாய்ந்த சில கதிர்கள், பவனத்திலே உயரமான இடங் களிலே மிகுந்து தென்படுகின்றன. இவை மின்காந்த அலைகள்தானா அல்லது மின்சுமை வாய்ந்த துகள்களா வென்பது இன்னும் ஐயத்துக்கிடமாக இருக்கிறது. மின்-காந்த அலைகளானால் அவற்றின் அலை நீளம் ·0004 A-க்குச் சமீபத்தில் இருக்கவேண்டியிருக்கும்.

இவ்வாருகப் பலவேறு வகைப்பட்ட மின்-காந்த அலைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றை யெல்லாம் தொகுத்து அவற்றின் அலை நீளங்களும் அடுக்கங்களும் நிறமாலையிலே அவற்றின் விரிவும் தோன்றுமாறு ஒரு படம் வரையப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 520).

MAHARAJAH SERFOGI'S SARASWATHI MAHAL LIBRARY THE TANJORE TANJORE

அலைகளின் பெயர்	விண்ணியல் கதிர்கள்	γ - கதிர்கள்	X - கிரணங்கள்	புற நீலக் கதிர்கள்	புலனாகும் கதிர்கள்	அகச் சிவப்புக் கதிர்கள்	வானக அலைகள்		தாழ்ந்த அடுக்கக் கிரணங்கள்
ஸ்தாயி-அளவி	0		5 10	15		20 25 30	35 40 45 50	55	60 65
அடுக்கம்	3×10^{20}	1×10^{19}	1×10^{16}		$4{\cdot}0 \times 10^{14}$	3×10^{12}		1×10^{4}	6×10
அலைநீளம் (பாழிலே)	1×10^{-10}	$3 \times 10^{-}$	3×10^{-6}		$7{\cdot}5 \times 10^{-[illegible]}$	1×10^{-2}		3×10^{6}	5×10^{8}

செயற்கை அளவி ← —— சென்டிமீடர் —— → ← 1 கிலோமீடர் —— → ← 5000 கி. மீ. →

படம் 520

பௌதிக நூல்

விடைகள்

ஒளியியல்

அத்தியாயம் 3 (பக்கம் 783)

3. $1\frac{1}{8}$ அங்குலம்.

5. புள்ளி 3·42 செ. மீ. அருகில் வந்துவிட்டதாகத் தோன்றும்.

8. மேலெழுந்து நிற்பதாகத் தோன்றும் தூரம் $2\frac{2}{3}$ செ. மீ.

9. 59°.

அத்தியாயம் 4 (பக்கம் 818)

3. படத்தில் படிவத்தின் தூரம் $-13\frac{1}{3}$ செ. மீ. பெருக்கம் $2\frac{2}{3}$.

4. குவிய நீளம் ∞ ; குவிஆடி அல்ல சமதள ஆடியே.

8. (1) படிவத்தின் தூரம் — 12 அங். ; பெருக்கம் 2
(2) ,, + 2 அடி. ; ,, 1.

9. படிவத்தின் தூரம் — $17\frac{1}{7}$ செ. மீ. ; படிவத்தின் உயரம் $8\frac{4}{7}$ செ. மீ. ; பொய்ப்படிவம்.

10. குவியாடி.

அத்தியாயம் 5 (பக்கம் 856)

1. படிவம் மெய்யானால் $106\frac{2}{3}$ செ. மீ.
படிவம் பொய்யானால் $26\frac{2}{3}$ செ. மீ.
வில்லைக்கு அருகில் பொருள் நிற்கும்.

2. 70 அடி.

4. (*a*) மெய், கவிழ்ந்தது, 40 செ. மீ.
(*b*) பொய், நேர், 20 செ. மீ.

5. $33\frac{1}{3}$ செ. மீ. தூரத்தில் வைக்கவேண்டும்.

6. குவியதீளம் 10·77 செ. மீ.; பெருக்கம் 2·2.

7. படிவம் வில்லைக்கு மறுபுறத்தில் 60 செ. மீ. தூரத்தில் விழும். படிவம் நேராக இருக்கும். அதன் உயரம் 12 செ. மீ.

9. வில்லை பொருளுக்கு 8 அங்குலம் தூரத்திலிருக்கிறது. குவியதீளம் 6 அங்குலம்.

அத்தியாயம் 6 (பக்கம் 893)

2. 3·428 மீட்டர் குவியதீளமுள்ள குவிவில்லைகளை உபயோகிக்கவேண்டும்.

3. 20 அங்குலம் குவியதீளமுள்ள குவிவில்லைகளை அணியவேண்டும்.

9. 22 செ. மீ.; பெருக்கத்திறமை 10.

ஒலியியல்

அத்தியாயம் 1 (பக்கம் 921)

3. 109·23 மீட்டர்.

அத்தியாயம் 4 (பக்கம் 974)

1. 1 : 9

4. அடுக்கம் :156·5.

5. $\frac{9}{25}$ கி. கிராம் எடை குறைக்கவேண்டும்.

8. அடுக்கம் 118·7.

அத்தியாயம் 5 (பக்கம் 1,003)

8. செகண்டுக்கு 3 விம்மல்கள் தோன்றும்.

காந்தவியல்

அத்தியாயம் 3 (பக்கம் 1,090)

2. புலவலிமை 0·0318 காஸ்.

7. பூமியின் படுக்கை பிரிநிலே 0·25 காஸ்.

9. முனை நோக்கு நிலையில் காந்தச்சட்டத்தின் மையத்திலிருந்து 27 செ. மீ. தூரத்தில் இருக்கும்.

10. துருவங்களினிடைத்தூரம் 25 செ. மீ.

12. 23,750 செ. கி. செ. அலகுகள்.

13. 90 செ. கி. செ. அலகுகள்.

14. 190 $\sqrt{3}$ செ. கி. செ. அலகுகள்.

15. 202·67 அலகுகள்.

16. 0·91 டைன் சக்தி.

17. 1·16 அலகுகள்.

18. 0·25 அலகு.

19. 0·005 அலகு.

20. Tan $\theta = 0{\cdot}26$; $\theta = 14{\cdot}5^\circ$ விலக்கம்.

21. 0·27 அலகு.

22. நிமிஷத்திற்கு 8·5 ஆட்டங்கள் ஆடும்.

23. 16 செ. மீ. தூரத்தில் இருக்கவேண்டும்.

25. காந்தச்சட்டத்தின் மையத்திலிருந்து 6·43 செ. மீ. தூரத்தில்.

26. 0·27 காஸ் அல்லது 0·45 காஸ் ஆகும்.

மின்சாரவியல்

அத்தியாயம் 3 (பக்கம் 1,196)

3. 49.6 செ. மீ.

5. 18·4° அல்லது 71·6°.

அத்தியாயம் 4 (பக்கம் 1,224)

1. 43·1 ஓம்.

2. நீளம் அதிகமுள்ள கம்பியில் $\frac{12}{13}$ ஆம்பியர் அருவியும், நீளம் குறைவான கம்பியில் $\frac{1}{13}$ ஆம்பியர் அருவியும்.

3. 0·068 ஆம்பியர்.

4. 2 ஓல்ட்.

5. $\frac{10}{99}$ ஓம்.

6. அகத்தகைவு 7 ஓம்.

7. 614·5 ஓம் தகைவைப் புகுத்தவேண்டும்.

8. 20 ஓம்.

10. $\frac{1}{4}$ ஓம் தகைவைக்கொண்டு குறுக்கிடவேண்டும்.

11. மின்னோட்டமானியின் தகைவில் $\frac{19}{20}$ அளவு கொண்ட குறுக்கீட்டை உபயோகிக்கவேண்டும்.

12. அகத்தகைவு 9 ஓம்.

13. 2·4 ஓம்.

14. 10 ஓம்.

15. அகத்தகைவு 9 ஓம்; மானியின் வர்சகம் $6\frac{1}{4}$ ஓல்ட்டாகும்.

16. 0·15 ஓம்; 0·70 ஆம்பியர்; 0·14 ஆம்பியர்.

அத்தியாயம் **5** (பக்கம் 1,250)

3. 0·000047 ஓம்.

4. நூற்றில் ஒன்று பிழை ஏற்படும்.

5. 12 ஓம் தகைவோடு.

6. 46·2 செ. மீ.

7. 0·58.

8. 1 ஓல்ட்.

9. 0·75.

10. பெருக்க குணியம் $\frac{11}{15}$.

11. 0·75.

12. 5 ஆம்பியர்.

13. 3 ஓல்ட் வரை ஒப்பிடலாம்.

14. 41·9 ஓம் தகைவு.

15. 6 ஓம்.

அத்தியாயம் **6** (பக்கம் 1,266)

1. 96,000 ஜூல்.

2. 4·3°c.

3. 129·9 ஓம்.

4. 14·3 கனலி.

5. 1 ஓம்.

6. ரூ. 3—8—0.

7. ரூ. 150—0—0.

அத்தியாயம் **7** (பக்கம் 1,290)

2. 0·00033.

3. 1 ஆம்பியர்.

4. 0·27 ஆம்பியர்.

விஷய சூசிகை

அகச்செம்மைக் கதிர்
கள் 906, 1360
அகத்தகைவு 1149
அஞ்சல் 1299
அடுக்கம், பிரதான 947
அடை 1294, 1306
அணிமை எல்லை 870
அணு ஆற்றல் 1346
அணு எண் 1345
அணுதரிசனி,
சாமானிய 869
,, சூக்ஷம 873
அணு நிறை 1272
அணுவின்
அமைப்பு 1334, 1344
,, ,, நீரக 1337
,, ,, கல்லிய 1338
,, ,, பரிதிய 1337
அயக்காந்தங்கள் 1115
அயக்காந்தவியல் 1113
அருந்து தொகுதி
கள் 905
அருவியை அளத்
தல் 1174
அலகு நிலைப்பு
வேற்றுமை 1141
,, வர்த்தக சங்கத்
தாரின் (மின்சார) 1256
அலியுரு 1345
அலை இயக்கம் 928
அலைகள்—ஒலி 933
,, குறுக்கு 930
,, நிலையான 936
,, நீர் 928
,, நெட்டு 931
,, முன்னேறும் 935
அவதிக் கோணம் 759
அளவி தூரதரிசனி 728
அறுகால் 729
அக்ஷிப்படலம் 861
ஆடி இணைக்கவட்டு 811
,, குழி 787
,, குவி 787
ஆடிகள் கோள 787
ஆம்பியர் 1176
ஆம்பியர் மானி 1192
ஆம்பியர் விதி 1173
ஆரம் வளைவின் 787
ஆல்பாக் கிரணங்கள் 1342
ஆழம் மெய் 757
,, பொய் 757
ஆஸ்டன் 1339
இசைக் குழாய் 912
இசைக் கூடு 1008
இசையியல் இடை
கள் 948

இசையொலிகள் 940
இணை கற்றை 692
இணையான ஆடிகள் 720
இணை வகுப்பு 1163
இயங்கு சுருள் மின்னோட்டமானி 1191
இயங்கு சுருள் மின்னோட்டமானியின் தத்துவம் 1186
இயனிகள் 1160
இயனீகரணம் 1285
இயோஸின் 736
இரட்டை ஊசிமுறை 1185
இருசு பிரதம 787
இருதலைத் தேய்ப்பு 1032
இறக்கம் 1098
இறக்க வட்டம் 1104
ஈவிங் ஆசிரியர் 1039
உகையும் பொருளும்
உகையாப் பொருளும் 1123
உகைவு 1199
உச்சக் கோட்டவியல்பு 897
உச்ச தூரம் கண் பார்வையின் 863
உட்செவிச் சவ்வு 1347
உடனியக்கம் 977
,, அன்றாட வாழ்க்கையில் 982
உபச்சாயை 696
உருகிகள் 1315
உருத்துலக்கி நீர் 806
உருவப்படப் பெட்டி 859
உவரக்குறை கந்தசை 860
உவரச்சுடர் 883
ஊசிக்கண் பெட்டி 693
ஊட்டச் சுருள் 904, 1321
ஊனங்கள் பார்வை 863
எதிரொலி 918
எளிய இசை இயக்கம் 922
ஒத்தியங்குதிறம் 863
ஒருதலைத் தேய்ப்பு 1031
ஒருதளப் பார்வை 863, 867
ஒலி நாண்கள் 1346
ஒலிப் பதிவு 1005, 1014, 1016
ஒலியகம் 1357
ஒலியியல் மின்கடம் 1012
ஒளிக்கோட்ட விதிகள் 737
ஒளிச் சிதறுதல் 896
ஒளிதரு திறமை 700
ஒளி நெருக்கம் 701
ஒளி மானி 703
,, புன்ஸன் 706
,, ரம்போர்ட் 705
,, ஜாலி 707
ஒளிமானியியல் 689
ஒளி வீழ்ச்சி 766
ஒற்றைத்தந்தி 958
ஓமின் விதி 1198

ஓரியல் இறக்க
வரைகள் 1101
,, பக்கச் சாய்வு
வரைகள் 1099
ஓல்டாமானிகள் 1274
,, செப்பு 1276
,, தண்ணீர் 1275
,, வெள்ளி 1277
கங்கண கிரகணம் 699
கடங்கள் உலர்ந்த 1156
,, கட்டளை 1157
,, துணை 1159
கடங்களின் மின்
னியக்க சக்தி 1241
கடங்களை அணி
வகுத்தல் 1162, 1211
கடம் குரோவின் 1158
,, டேனியல் 1150
,, புன்ஸன் 1159
,, பைக்ரோமேட் 1154
கண் 861
கண் காணி 1008
கண்ணாடி ஆபெரா 879
கண்ணினுள் மணி 862
கதிரியக்கக் கிரணங்
களின் இயல்பு 1342
கதிரியக்கச் சிதைவு 1343
கதிரியக்கம் 1341
கதிரியம் 1342
கரு 1329, 1334
கவிகை 868
காக்னியார்ட்டிலாடூர் 945
காட்சிக் கோணம் 870
காட்சியின் நீடிப்பு 898
காந்த அளவியல் 1051
காந்த இருசு 1024
காந்த உறைப்பு 1110
காந்த ஊட்டம் 1027
காந்தங்கள்
இயற்கை 1023
,, செயற்கை 1023
,, குளம்பு 1031
,, கூட்டு 1035
காந்தத்தின் மூலகக்
கொள்கை 1037
காந்த திருப்பியல் 1052
காந்த துருவகம் 1026
காந்த துருவங்
கள் 1101, 1107
காந்தப் பற்றுதல் 1030
காந்தப் புயல்கள் 1107
காந்தப் புலம் 1042
,, பூமியின் 1049
காந்தம் எச்ச 1029, 1112
காந்தமானி துடிப்பு 1077
காந்த மூலங்கள் 1102
காந்தவியல் தயக்கம் 1109
காந்தவியல்பு
அழிதல் 1035
காந்தவியல் விளைவுகள்
மின்னருவியின் 1171
காப்பு 1035
காப்புத்திறனும் ஏற்
புத்திறனும் 1028

காமாக்கிரணங்கள் 1342, 1361
காவெண்டிஷ் 1137
கானல் நீர் 765
காஸ் 1043
காஸின் A நிலை 1064
,, B நிலை 1064, 1066
கிட்டப் பார்வை 863
கியூரி அம்மையார் 1341
கிரணங்கள் 697
,, X 1330, 1361
கிராமபோன் 1007
கிளேப்பிரிவின் தத்துவம் 1208
குருட்டு வாய் 862
குவி கற்றை 692
குவிய நீளம் 787
குவியம் பிரதம 787
குறுக்குத் துடிப்பு தந்திகளின் 954
குறைக்கதிர் 1325
குறைத்தகடு 1147
கூட்டல் கழித்தல் முறை 1238
கூட்டெண் 1272
கூலம் 1177
கூலோம்பின் விதி 1041
கெப்ஸ்லர் குழாய் 904
கெல்வின் முறை 1238
கேள்வி நரம்புகள் 1347
கேள்வி வரம்புகள் 949
கோட்டக் கோணம் 768
கோட்டப் பான்மை 738
,, கேவல 738
,, திரவத்தின் 756
கோட்ட விளிம்பு 768
கோளவியல் பிறழ்ச்சி 810
சக்தி வரைகள் 1042
சந்திரகிரகணம் பார்சுவ 698
சமதள ஆடியின் சுழற்சி 725
சமனிகள் 1339
சல்லடைத் தாரை 943
சாயை 695, 696
சாவிகள் 1164
சாவி இருவழி 1166
,, தட்டு 1166
,, மூளை 1165
சாளேசரம் 863
சுண்ண விளக்கு 869
சுமையேற்றுதல் ஊட்டத்தால் 1127
சுமையேற்றுதல் திட்டத்தால் 1127
சுயம் பிரகாசமான பொருள்கள் 689
சுயம் பிரகாசமில்லாத பொருள்கள் 689
சுருதி 940
சுருதிகள் பரிவார 947, 965
சுருதிமானி 946, 957
செறிவு ஒளியியல் 739
செறிவுக் காந்தங்கள் 1115

செறிவுக்காந்தவியல் 1113
சேமங்கள் 1160
சேமம் எடிஸன் 1162
சைபீரியச் சுழல் 1101
சோதனைத் துடிப்பு 1131
டைனமோவும் மோட்டாரும் 1302
டைனமோ நேர் அருவி 1306
தகைப்புகள் 1164, 1218
தகை பொருள்கள் 690
தகைவிகள் தொடரிலும் இணைவிலும் 1204
தகைவியல்பு 1145
தகைவு உரிமை 1207
தகைவுப் பெட்டிகள் 1214
,, வட்டில் வகை 1216
தகைவை அளத்தல் 1229
தபால் ஆபீஸ் பெட்டி 1231, 1234
தழல் விளக்கு 1310
துடிப்பகம் 1353, 1354
துடிப்பு உடனியல் 960
,, பின்னல் 966
,, தன்வயமானதும் பிறவயமானதும் 977
துடிப்புக் கண்டம் 936
துருவம் 787
,, வட 1025
,, தென் 1025
துளங்கிசைக் கருவி 1016
தூர்தல் 1149
தூரதரிசனி வானவியல் 874
தூரதரிசனி கலீலியோவின் 878
தூரப் பார்வை 863, 865
தெவிட்டும் எல்லை 1038
தெளி பொருள்கள் 690
தொலைப்பேசி 1300, 1346, 1347
தோற்றப் பருமை 869
நழுவம் 867
நாலம் சாமானிய 926
நியூட்டன் வர்ணத் தட்டு 898
நிலைப்பு மின்னியல் 1140
நிலைப்பு மாற்றகங்கள் 1350
நிலைப்புமானி 1243
நிழல் 689, 695
நிறமாலை சௌர 905
,, தொடர் 897
,, தொடர்பற்ற 904
,, வகைகள் 901
,, வரி 903
நிறமாலைப் பாகுபாடு 906
நிறமாலை மானி 880
நிறை நிறமாலைக் கருவி 1341
நிறையுரு 1150
நீசக் கோட்ட வியல்பு 897
நீச தூரம் கண் பார்வையின் 863

நீச நிலைத் தகைவு
மார்க்கம் 1144
நெடும் பிருவு 1188
நெறிமாற்றி 1304
நேத்திர நாடிகள் 861
நேர் கோட்டுச் செலவு
689, 691
பக்கச் சாய்வில்லா
வரை 1101
பக்கச் சாய்வு 1099
படிவங்கள் 712
,, பொய் 712
,, மெய் 712
பண்பு 940, 947
பல் சக்கரம் 941
பனியறை 1328
பாத மின்மானி 1141
பார்வைப் பகுதி 729
பார்வை மூப்பு 863, 866
பிணக்கம் 951
பிணையல் குவியங்கள் 833
,, புள்ளிகள் 793
பிரதிபலனம் ஒலியின் 917
,, பூரண அந்தர 759
பிராணிகாணம் 1150
பிரான் ஹோபர்
வரைகள் 905
பிழம்பு மண்டிலம் 905
பிறைக்கோடு 751, 810
பிறை விளக்கு 869
பீட்டா கிரணங்கள் 1342
புகுவாய் 880, 881
புடை பெயர்ச்சி
முறை 715, 839
புடைமாற்றம் 719
புள்ளிகள் சூனிய 1058
புற ஊதாக் கிரணங்
கள் 906, 1360, 1361
புறநோக்கு நிலை 1053,
1054, 1073
புறவிலக்கம் 1188
பூமியின் காந்தவியல் 1098
,, கூட்டுப்புலம் 1098
,, நிலுவைப்புலம் 1098
,, படுக்கைப்புலம் 1098
,, புலம் 1098
பெயின் பிரிட்ஜ் 1341
பெருக்கம் 797
பெருக்கத்திறமை 871
பென்டேன் கட்டளை
விளக்கு 704
பேசும் படங்கள் 1011
பேய்த்தேர் 765
பொருட் பகுதி 730, 873
பொன்னிலை மின்
காட்டி 1124
மங்கிய பொருள்கள் 690
மாக்ஸ்வெல் 1137
மாற்றகங்கள் 1164, 1166,
1304
மாற்றகம்இரச 1166, 1168
,, முளை 1166, 1168
,, சாவி 1167, 1169
மாறுபடம் 860

மாறு மின்னோட்டம் 1304
மிகைக் கதிர் பாகு
பாடு 1339
மிகை முனைக்கதிர்கள் 1338
மிகையுரு 1345
மின்கல அடுக்கின்
தகைவு 1237
மின்காந்த அலைகளும்
நிறமாலையும் 1359
மின்காந்த சாதனங்
கள் 1293
மின்சார அச்செடுத்
தல் 1317
மின்சார அடுப்பு 1312,
1255
,, அருவி 1146
,, கெட்டில் 1313
,, தந்தி 1295
,, பூச்சிடுதல் 1317
,, மணி 1293
,, மீடர் 1316
,, மோட்டார் 1308
மின்சுமை
யந்திரங்கள் 1133
மின் தகைவு 1199
மின் துருவங்கள் 1147
மின்நிலையியல் 1119
,, அலகு 1138
மின் புலத்தின்
உறைப்பு 1138
,, சக்திவரைகள் 1138
மின் மட்டமானி 1192
மின்னருவியின் இர
சாயன விளைவுகள் 1269
,, வெப்பவியல்
விளைவுகள் 1255
மின்னாற்றலை அளத்
தல் 1314
மின்னியக்க சக்தி 1148
மின்னியல் அளவை
கள் 1229
மின்னியல் இரசாயன
ஒப்புமை 1272
,, ,, ,, நீரகத்
தின் 1278
,, ,, ,, செம்
பின் 1280
மின்னுருத்தாழ்
பெருக்கி 1014
மின்னுழைவுப்
பான்மை 1137
மின்னூட்டம் 1269
மின்னூட்டி 1269
மின்னூட்டப் பரவல் 1284
மின்னூட்ட விதி
கள் 1271, 1272
மின்னூட்ட விதி
களைச் சரிபார்த்தல் 1283
மின்னூற்று 1134
மின்னோட்டமானி
கள் 1177
,, பரிசு 1177
மின்னோட்டமானி
யின் தகைவு 1237

முடிகள் 936
,, எதிர் 936
முப்பட்டை 768
,, பூரண பிரதி பலன 779
முப்பட்டைப் பீடம் 882
முழக்கம் 915, 941, 945
முனை நோக்கு நிலை 1053, 1072
மெல்டியின் பரிசோதனை 967
மையம் வளைவின் 787
,, ஒளியியல் 825
மௌனப் படங்கள் 1008
ராபர்ட்பாயில் 912
ராஸ் 1108
ரிட்டர் 1361
ரூதர் போர்ட் 1343
ரேடியோவின் தத்துவம் 1351
வடதுருவ வெள்ளொளி 1107
வண்ணத்திப்பூச்சி வலை 1132
வத்தித்திறன் 703
வர்ணமண்டிலம் 905
வருக்க மறிப்பு விதி (ஒளி) 701
வால்டாய்க் கடங்கள் 1147
வாளி லெய்டன் 1135
வானக அலைகள் 1360
வானி 1355
விசிறி மின் யந்திரம் 1135
விண்ணியல் கதிர்கள் 1361
விதி ஆம்பியர் 1174
,, வலதுகை 1174
,, வலம்புரித் திருகு 1174
விம்மல்கள் 950
விரிகற்றை 692
வில்லைகள் 821
,, இருகுவி 821
,, இருகுழி 822
,, குவிவிளிம்பு 821
,, குழி 822
,, தளகுவி 821
,, தளகுழி 822
வில்லையின் திறமை 834
விலக்கம் 736
,, நீச 770, 887
விலகுக் காந்தமானி 1067
விலகுக் காந்தங்கள் 1116
விலகுக்காந்தவியல் 1113
விளக்கு சுடர் 1311
,, தழல் 1310
விளக்கும் அளவியும் 727
விழி 861
,, கரு 862
வீச்சு வில்லை 868
வீச்சு விளக்கு 867
வீட்ஸ்டன் இணைப்பு 1231, 1232
,, வலையின் தத்துவம் 123

வெட்டுவாய் பிரதம 787
வெள்ளெழுத்து 863
ஜூலின் விதி 1257
,, சரிபார்த்தல் 1261
ஜெலாடின் 860
ஸ்வரக் கிரமங்கள் 949
ஸ்வரக் குழாய் 1007
ஸார்ல் 1078
ஷீல் 907
ஹெர்ஷல் 906
X கிரணங்கள் 1330, 1361
X கிரணங்களின் இயல்பு 1333
X கிரணங்களின் தோற்றம் 1335
X கிரணக் குழாய் 1332

பிழை திருத்தம்

பக்கம்	வரி	பிழை	திருத்தம்
689	28	புலனாகிறது	புலனாகின்றன
692	22	அது	அவை
713	14-15	ஏற்றி	ஏற்று
717	18	கி	நி
717	25	பித) ஆகும்படியாக	பித ஆகும்படியாக)
726	11	—கோணம் ஸ அ ப	—கோணம் ஸ அ ப)
743	5	கண்டோம்	காண்போம்
745	13	வடிவொத்ததாகும்	வடிவொத்தனவாகும்
757	24	$(x_2 - x_1)$	$(x_3 - x_2)$
780	6	ஆடியிற்காக	ஆடியியற்றுவதற்காக
787	7	இவன்	இதன்
787	24	அவையாவும்	அது முழுதும்
791	3	வரை று	வாறு
791	14	என்வற்றின்	என்பவற்றின்
801	11	சதுரமான தொரு	சதுரமான
850	2	$\frac{f_2 F}{F - f_2}$	$f_2 f_1 / f_1 - f_2$
894	15	முறைப்படம் வரைந்து	முறையைப் படம் வரைந்து
900	3-4	நீச நிலையில்	நீச விலக்க நிலையில்
901	20	காணக் கூடுவதை	காணக்கூடுமென் பதை
912	5	துடிப்பதாகக்	துடிப்பதைக்

919	6	பை கடியாரத்தை	பைக் கடியாரத்தை
930	17–18	இரண்டு துகள்களுக் கிடை	இரண்டு அடுத்தடுத் துள்ள துகள்களுக் கிடை
954	26	ஒரு வரையறுத்த	வரையறுத்த
963	4	$\frac{\sqrt{T_2}}{n_2 l_2}$	$\frac{\sqrt{T_2}}{n_1 l_2}$
963	2	இருகும்	இருக்கும்
1034	4	காந்த சக்தி	காந்த சக்தி
1039	26	மூலக்கொள்கை	மூலகக்கொள்கை
1053	11	d^2	d
1078	13	மிங்குது	மிகுந்து
,,	27	சட்டக்காந்தத்தை	சட்டக்காந்தம்
1084	21	$\frac{T_1^2+T_2^2}{T_1^2-T_2^2}$	$\frac{T_1^2+T_2^2}{T_2^2-T_1^2}$
1101	10	பக்கச்சாய்வுவரை	பக்கச்சாய்வில்லா வரை
1112	6	குறிப்பதாகும்	குறிப்பனவாகும்
,,	31	இவை.........20.	(இத்தொடரை நீக்கி விடவும்)
1114	2	அது நிற்கும்	நிற்கும்
1115	2	ஏற்பமே	ஏற்படும்
,,	8	துறக்கப்படும்	தூரக்கப்படும்
,,	25	மாறிலியாகும்	மாறியலாகும்
1119	17	கம்பிளித்துணி	கம்பளித்துணி
1121	13	ஒரு கண்ணாடிக் குச்சி	கண்ணாடிக் குச்சி
1123	11	மேற்கொண்ட	மேற்கண்ட

1124	23	தகைவிகள்	உகைவிகள்
1176	7	அப்புள்ளியிலிருக்கும்	அப்புள்ளியிருக்கும்
1187	5	ஒரு எட்டிற்கு	எட்டிற்கு
1197	5–6	அளவியை	அருவியை.
1214	3	$\frac{m\ r}{R}$	$\frac{m\ r}{n}$
1246	29	$\frac{E_1}{E}$	$\frac{E_1}{E_2}$
1248	4	நிலைப்புவானி	நிலைப்புமானி
1250	14	தடிப்பு	தடிப்பும்
1261	13	மாறியில்	மாறியல்
1264	8	$\frac{\cdot 19 \times 69}{20} = 5{\cdot}7c$	$\frac{\cdot 19 \times 60}{20} = {\cdot}57\ c$
1284	19	m	m_2
1287	25	மின்சுமை.	மின்சுமை
1358	11	பல குறைவுகள்	பல குறியீடுகள்

தஞ்சை மகாராசா சரபோசி சரசுவதி மகால் நிலையம்.
தஞ்சாவூர்.

பௌதிக நூல்
இரண்டாம் புத்தகம்

ஆர். கே.
விசுவநாதனும்
வி. என்.
இராமஸாமியும்
இயற்றியது